



**José Pedro Monteiro  
Ponces Rodrigues de  
Carvalho**

**Caracterização Material e Construtiva de Edifícios de  
Adobe em Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



Dedico este trabalho aos meus pais pelo incansável apoio.



## **o júri**

presidente

Prof<sup>a</sup>. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Daniel Vitorino de Castro Oliveira  
professor associado da Universidade do Minho

Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum  
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa  
professor catedrático da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Expresso o meu mais sincero agradecimento ao Professor Doutor Humberto Varum pela sua ajuda, orientação, compreensão e paciência neste trabalho.

Ao Professor Doutor Aníbal Costa, pela sua ajuda e pelas sugestões dadas neste trabalho.

À Câmara Municipal de Aveiro pela sua contribuição na selecção dos edifícios a levantar.

À Dora Silveira por toda a disponibilidade, apoio e ajuda prestada ao longo deste trabalho.

Ao António Figueiredo e ao Vítor Rodrigues por toda a ajuda prestada em laboratório.

Aos amigos mais chegados, pela força, amizade, companheirismo, e por todos os momentos vividos ao longo deste percurso universitário.

Aos meus irmãos por todo a força e apoio demonstrado.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo e confiança que sempre depositaram em mim.

Finalmente gostaria de agradecer à Vanessa pelo ininterrupto apoio, carinho, incentivo e força dada ao longo deste trabalho.

A todos aqui deixo a minha mais profunda gratidão.





## **palavras-chave**

Alvenaria de adobe, caracterização mecânica, caracterização construtiva, anomalias.

## **resumo**

Em Portugal, particularmente no distrito de Aveiro, existe um vasto património construído em alvenaria de adobe, encontrando-se grande parte ainda em utilização. Porém, um número significativo destas construções apresenta um pronunciado estado de degradação, e em alguns casos até abandono. Este cenário é resultado, por um lado, da ausência de medidas de reabilitação e reforço ou, quando estas ocorrem, da adopção de técnicas e materiais inadequados. Por outro lado, a falta de conhecimento sobre as características e comportamento das construções em adobe, bem como sobre soluções de reabilitação e reforço apropriadas, também justifica este cenário.

Assim, com este trabalho pretende-se contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre as características, o comportamento e as anomalias mais comuns neste tipo de construções.

Inicialmente, de forma a contribuir para a caracterização dos sistemas construtivos e patologias estruturais e não estruturais mais comuns dos edifícios em adobe, caracterizaram-se detalhadamente dois edifícios, localizados na cidade de Aveiro, representativos da construção local, através de inspecções visuais apoiadas em fichas de levantamento e avaliação específicas, desenvolvidas e testadas em trabalhos anteriores.

Por forma a contribuir para a caracterização mecânica do adobe tradicionalmente utilizado em edifícios existentes no distrito de Aveiro, ensaiaram-se provetes extraídos de blocos de adobe recolhidos em dois edifícios existentes no concelho da Murtosa. Para o estudo da resistência à compressão simples do adobe, foram ensaiados à compressão simples provetes cúbicos e cilíndricos, comparando-se os resultados obtidos para os provetes com geometria diferente. Para o estudo da resistência à tracção, foram ensaiados à compressão diametral provetes cilíndricos e à flexão provetes paralelepípedicos, comparando-se os resultados obtidos para as duas séries de ensaio.

Por último, de modo a contribuir para a caracterização do comportamento mecânico da alvenaria de adobe, construíram-se 5 paredes à escala real, com dimensões de  $1,26 \times 1,26 \times 0,35 \text{ m}^3$ , ensaiadas posteriormente em compressão diagonal às juntas de assentamento.

Os resultados obtidos com as inspecções e com os ensaios em laboratório contribuem para o enriquecimento do conhecimento sobre este rico património local em Aveiro, que poderá ser utilizado em futuras acções de reabilitação.



## **keywords**

Adobe masonry, mechanical characterization, constructive characterization, anomalies

## **abstract**

In Portugal, particularly in Aveiro district, there is a vast heritage built with adobe masonry, which is largely still in use. However, a significant number of these constructions presents a pronounced state of degradation, and in some cases even abandonment. This scenario is the result, on the one hand, of the lack of rehabilitation and strengthening measures or, when these occur, of the adoption of inadequate materials and techniques. On the other hand, the lack of knowledge concerning the characteristics and behaviour of adobe constructions, as well as concerning the appropriate rehabilitation and strengthening solutions, further supports this scenario.

Thus, with this work it is intended to contribute to a deeper knowledge concerning the characteristics, behaviour and the most common anomalies in this type of construction.

Initially, in order to contribute to the characterization of the constructive systems and the most common structural and non structural pathologies of the adobe buildings, two buildings, located in the city of Aveiro, representative of the local construction, were characterized in detail, through visual inspections supported by specific survey and evaluation sheets, developed and tested in previous works.

In order to contribute to the mechanical characterization of the adobe traditionally used in existing buildings in Aveiro district, tests were conducted on specimens extracted from adobe blocks collected in two existing buildings in Murtosa municipality. For the study of the simple compressive strength of adobe, cubic and cylindrical specimens were tested in simple compression, and the results obtained for the specimens with different geometries were compared. For the study of the tensile strength, cylindrical specimens were subjected to splitting tests, and parallelepipedic specimens to flexural tests, and the results obtained for the two test series were compared.

Finally, in order to contribute to the characterization of the mechanical behaviour of adobe masonry, 5 walls were built in full-scale, with dimensions of  $1,26 \times 1,26 \times 0,35 \text{ m}^3$ , and then tested in compression diagonal to the bed joints.

The results obtained with the inspections and laboratory tests contribute to the enrichment of the knowledge concerning this rich local heritage in Aveiro, knowledge that can be utilized in future rehabilitation actions.



# ÍNDICE GERAL

<b>Índice Geral.....</b>	<b>i</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Símbolos .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objectivos .....	4
1.3. Metodologia e Estrutura da Dissertação .....	4
<b>2. LEVANTAMENTOS .....</b>	<b>9</b>
2.1. Identificação dos Edifícios .....	9
2.2. Avaliação da Cobertura .....	11
2.3. Avaliação das Paredes da Fachada .....	13
2.4. Avaliação dos Pavimentos .....	17
2.5. Avaliação das Paredes Interiores .....	19
2.6. Avaliação dos Tectos .....	22
2.7. Avaliação de Caves e Fundações .....	24
2.8. Avaliação de Outros Elementos Estruturais .....	24
2.9. Materiais Tradicionais Constituintes das Alvenarias de Adobe .....	25
2.10. Observação do Terreno e da Vizinhança do Edifício .....	27
2.11. Conclusões .....	28
<b>3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE .....</b>	<b>33</b>
3.1. Recolha de Amostras e Procedimentos Gerais de Ensaio .....	34
3.2. Ensaios para Determinação da Resistência à Tracção .....	36
3.2.1. Ensaios de Flexão .....	36
3.2.2. Ensaios de Compressão Diametral .....	39
3.2.3. Comparação de Resultados .....	42
3.3. Ensaios para a Determinação da Resistência à Compressão .....	43
3.3.1. Ensaios de Compressão Simples sobre Provetes Cilíndricos .....	43

3.3.2.	Ensaio de Compressão Simples sobre Provetes Cúbicos .....	46
3.3.3.	Comparação de Resultados .....	49
3.4.	Comparação entre as Resistências à Tração e à Compressão.....	50
<b>4.</b>	<b>ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL EM PAREDES DE ADOBE.....</b>	<b>55</b>
4.1.	Construção das Paredes .....	55
4.2.	Caracterização das Argamassas de Assentamento e Reboco .....	56
4.2.1.	Análise Granulométrica.....	56
4.2.2.	Caracterização Mecânica.....	58
4.3.	Instrumentação e Procedimentos de Ensaio .....	61
4.4.	Apresentação e Análise de Resultados .....	64
4.4.1.	Parede 1 .....	65
4.4.2.	Parede 2 .....	66
4.4.3.	Parede 3 .....	68
4.4.4.	Parede 4 .....	69
4.4.5.	Parede 5 .....	70
4.4.6.	Resultados globais .....	71
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
5.1.	Trabalhos em Desenvolvimento .....	78
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo .....</b>	<b>87</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Capítulo 1

Figura 1.1. Distribuição da construção em terra no Mundo (Sensi, 2003).....	1
Figura 1.2. Distribuição das construções em terra crua (adobe e taipa) em Portugal (Oliveira e Galhano, 1992). ....	2
Figura 1.3. Diferentes tipos de edifícios em alvenaria de adobe existentes em Aveiro (Varum <i>et al.</i> , 2010). ....	3

## Capítulo 2

Figura 2.1. a) Edifício H_028; b) edifício H_029. ....	10
Figura 2.2. Plantas do edifício H_028 a) piso térreo; b) primeiro piso. ....	11
Figura 2.3. Planta do edifício H_029.....	11
Figura 2.4. Cobertura do edifício H_028.....	12
Figura 2.5. Exemplos de patologias na cobertura do edifício H_028: a) no revestimento exterior; b) nos elementos estruturais. ....	12
Figura 2.6. Exemplos de patologias na cobertura do edifício H_029: a) no revestimento exterior; b) nos elementos estruturais. ....	13
Figura 2.7. Exemplos de patologias existentes na fachada principal do edifício H_028. ...	14
Figura 2.8. Paredes da fachada lateral direita do edifício H_028.....	15
Figura 2.9. Exemplos de patologias existentes na fachada lateral esquerda do edifício H_028. ....	15
Figura 2.10. Exemplos de patologias existentes na fachada principal do edifício H_029. .	16
Figura 2.11. a) Patologias presentes nos barrotes que suportam o primeiro piso (edifício H_028); b) destacamento do recobrimento com corrosão da armadura na laje de betão armado da cozinha (edifício H_028). ....	17
Figura 2.12. Revestimentos dos pavimentos do edifício H_028: a) com mosaico hidráulico no hall de entrada (piso térreo); b) com mosaico hidráulico na instalação sanitária (primeiro piso); c) com madeira nos restantes compartimentos do primeiro piso. ....	18
Figura 2.13. Revestimentos dos pavimentos do edifício H_029: a) em taco colado de madeira; b) em soalho e betonilha, sob tela plástica, na cozinha. ....	19

Figura 2.14. Revestimento de paredes interiores do edifício H_028: a) paredes pintadas com tinta de água plástica; b) paredes da cozinha; c) paredes da instalação sanitária.....	20
Figura 2.15. Patologias em paredes interiores do edifício H_028: a) paredes em adobe do piso térreo; b) paredes em tabique do primeiro piso; c) paredes em adobe do primeiro piso. ....	21
Figura 2.16. Paredes interiores do edifício H_029: a) hall de entrada (compartimento 1); b) compartimento à direita da entrada (compartimento 2); c) cozinha (compartimento 7).	22
Figura 2.17. Patologias visíveis no tecto do piso térreo do edifício H_028.....	22
Figura 2.18. Algumas patologias visíveis no tecto do primeiro piso do edifício H_028. ....	23
Figura 2.19. Tectos do edifício H_029: a) compartimento à direita da entrada (compartimento 2); b) comunicação horizontal (compartimento 4); c) cozinha (compartimento 7).....	23
Figura 2.20. Pormenor do tecto no compartimento à direita da comunicação horizontal (compartimento 5) do edifício H_029. ....	24
Figura 2.21. Arco existente no Edifício H_028. ....	24
Figura 2.22. Escada na ala esquerda de H_028; b) escada na ala direita de H_028. ....	25
Figura 2.23. Dois tipos de adobe presentes no edifício H_028: a) adobe de cor alaranjada; b) adobe de cor bege escura. ....	26
Figura 2.24. Argamassa de revestimento tradicional na fachada lateral esquerda do edifício H_028. ....	26
Figura 2.25. Argamassa de revestimento tradicional no edifício H_029: a) no interior; b) no exterior. ....	27
Figura 2.26. Pormenor das patologias presentes no muro do edifício H_029. ....	27
Figura 2.27. Edifícios confinantes às habitações. ....	28

### Capítulo 3

Figura 3.1. a) Edifício H12; b) Edifício H13. ....	34
Figura 3.2. a) Bloco de adobe do edifício H12; b) Bloco de adobe do edifício H13.....	35
Figura 3.3. a) Regularização da base dos blocos; b) Corte das faces laterais do bloco. ....	37
Figura 3.4. a) Provete sobre o apoio; b) Colocação da argamassa para regularização. ....	37
Figura 3.5. Ensaio de Flexão.....	38
Figura 3.6. Distância entre os apoios. ....	38



Figura 3.7. Modo de rotura nos ensaios de flexão.....	39
Figura 3.8. a) Extracção de provete; b) Provete antes do corte das faces de topo; c) Provete final.....	40
Figura 3.9. Ensaio de compressão diametral. ....	40
Figura 3.10. Rotura do provete cilíndrico sujeito à compressão diametral. ....	41
Figura 3.11. Correlação entre as resistências à tracção obtidas por flexão e compressão diametral. ....	42
Figura 3.12. Ensaio de compressão simples em provetes cilíndricos.....	43
Figura 3.13. Rotura do provete cilíndrico sujeito a compressão simples. ....	44
Figura 3.14. Curvas com a evolução da tensão em função da extensão vertical.....	45
Figura 3.15. Colocação da argamassa de areia fina.....	46
Figura 3.16. Rotura do provete cúbico sujeito à compressão simples.....	47
Figura 3.17. Curvas com a evolução da tensão em função da extensão horizontal.....	48
Figura 3.18. Correlação entre as resistências à compressão obtidas em cubos e em cilindros. ....	50

## Capítulo 4

Figura 4.1. a) Construção de parede; b) Parede sem reboco; c) Parede com reboco. ....	56
Figura 4.2. Solos utilizados na produção da argamassa de assentamento e reboco. ....	56
Figura 4.3. Curva granulométrica do solo 1. ....	57
Figura 4.4. Curva granulométrica do solo 2. ....	57
Figura 4.5. Curva granulométrica da mistura de solos utilizada no fabrico da argamassa. ....	58
Figura 4.6. Provetes prismáticos de argamassa. ....	59
Figura 4.7. Ensaio à flexão de provete de argamassa. ....	59
Figura 4.8. Ensaio à compressão de metade de provete de argamassa.....	60
Figura 4.9. Sistema de rotação, transporte e apoio das paredes. ....	61
Figura 4.10. Peças metálicas: a) para apoiar a parede no pórtico; b) para a aplicação da carga do actuador sobre a parede.....	61
Figura 4.11. Esquema do ensaio de compressão diagonal. ....	62
Figura 4.12. Posicionamento dos sensores de deslocamento nas duas faces de cada parede a) Face A; b) Face B.....	62
Figura 4.13. Actuador utilizado no ensaio.....	63

Figura 4.14. Dano verificado na Parede 1 (Face A).....	65
Figura 4.15. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 1. ....	66
Figura 4.16. Dano verificado na Parede 2 (Face A).....	67
Figura 4.17. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 2. ....	67
Figura 4.18. Dano verificado na Parede 3 (Face A).....	68
Figura 4.19. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 3. ....	68
Figura 4.20. Dano verificado na Parede 4 (Face A).....	69
Figura 4.21. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 4. ....	70
Figura 4.22. Dano verificado na Parede 5 (Face A).....	70
Figura 4.23. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 5. ....	71
Figura 4.24. Curvas tensão vs. extensão finais.....	72
Figura 4.25. Curvas tensão vs. extensão com base nas medições dos sensores curtos. ....	73
Figura 4.26. Curvas tensão vs. extensão com base nas medições dos sensores longos. ....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 3

Tabela 3.1. Relação da Resistência à Tracção / Resistência à Compressão. ....	50
---	----

### Capítulo 4

Tabela 4.1. Resultados obtidos no ensaio à flexão dos provetes de argamassa. ....	59
Tabela 4.2. Resultados obtidos no ensaio à compressão de provetes de argamassa. ....	60
Tabela 4.3. Valores da Tensão de Ruptura de Corte, Deformação de Corte e Módulo de Rigidéz, para cada parede. ....	72

### Anexo A

Tabela A. 1. Identificação dos Edifícios. ....	87
Tabela A. 2. Caracterização da Cobertura. ....	88
Tabela A. 3. Patologias da Cobertura. ....	89
Tabela A. 4. Caracterização das Paredes da Fachada. ....	90
Tabela A. 5. Patologias das Paredes da Fachada. ....	91
Tabela A. 6. Patologias das Paredes de Fachada (continuação). ....	92
Tabela A. 7. Caracterização dos Pavimentos. ....	93
Tabela A. 8. Patologias dos Pavimentos. ....	94
Tabela A. 9. Avaliação das Paredes Interiores. ....	95
Tabela A. 10. Avaliação dos Tectos. ....	96
Tabela A. 11. Avaliação de Caves e Fundações. ....	97
Tabela A. 12. Caracterização de Outros Elementos Estruturais. ....	98
Tabela A. 13. Patologias de Outros Elementos Estruturais. ....	99
Tabela A. 14. Materiais Tradicionais Constituintes das Alvenarias das Alvenarias de Adobe. ....	100
Tabela A. 15. Observação do Terreno e da Vizinhança do Edifício. ....	101



## LISTA DE SÍMBOLOS

### Abreviaturas

ASTM	American Society for Testing Materials
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
RILEM	International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

### Letras maiúsculas latinas

$A$	área transversal que resiste à carga
$A_n$	área real
$D$	diâmetro do provete
$F$	força máxima
$F_c$	carga de rotura
$G$	módulo de rigidez
$H$	altura do provete
$L_g$	comprimento inicial do sensor
$P$	carga aplicada
$S_s$	tensão de corte
$W$	largura da parede

### Letras minúsculas latinas

$b$	largura do provete
$h$	altura da parede
$l$	distância entre os apoios
$n$	percentagem da área bruta da parede que é sólida
$t$	espessura da parede

## Letras gregas

$\Delta L$	variação de comprimento
$\Delta V$	deformação vertical
$\Delta H$	deformação horizontal
$\varepsilon_h$	extensão horizontal
$\varepsilon_v$	extensão vertical
$\gamma$	deformação de corte
$\nu$	coeficiente de Poisson
$\sigma_f$	resistência à flexão
$\sigma_t$	resistência à compressão diametral
$\sigma_c$	resistência à compressão

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---





# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

A terra é usada como material de construção há mais de dez mil anos, quando se edificaram as primeiras aglomerações urbanas, sendo utilizada em todo o tipo de construções. Tendo em conta diversas variantes, tais como os recursos disponíveis, a cultura e a situação económica, desenvolveram-se diferentes técnicas, destacando-se, por exemplo, a alvenaria de adobe, a taipa, o tabique e a terra-palha.

Hoje em dia estima-se que cerca de 30% da população mundial habite neste tipo de construções (Houben e Guillaud, 1994). Enquanto nos países subdesenvolvidos construir em terra é a forma mais económica e eficaz para que grande parte da população possua uma habitação, nos países desenvolvidos as populações estão a redescobrir as vantagens deste material. A Figura 1.1 apresenta a distribuição da construção em terra no Mundo.



Figura 1.1. Distribuição da construção em terra no Mundo (Sensi, 2003).

A terra apresenta, de facto, várias vantagens, enquanto material de construção. É um material económico, biodegradável, disponível localmente, reciclável, incombustível, apresenta boa adaptabilidade a uma grande variedade de solos, possui excelentes propriedades térmicas e acústicas, e utiliza apenas maquinaria simples e força humana (Blondet *et al.*, 2005).

Por outro lado, a construção em terra e, em particular, a construção em adobe, apresenta algumas desvantagens que abrangem, nomeadamente: uma baixa resistência à tracção, ao corte e, consequentemente, se não for devidamente reforçada, a esforços horizontais, como os provocados pela acção sísmica (Ocola e Huaco, 2005; Elnashai *et al.*, 2010); e vulnerabilidade à acção da água, se as paredes não forem adequadamente protegidas.

Em Portugal, a construção em alvenaria de adobe foi uma técnica muito utilizada até meados do século XX, sobretudo no distrito de Aveiro, Figura 1.2. De acordo com os censos publicados desde 1911, denota-se um decréscimo acentuado do número de edifícios existentes, constituídos por este tipo de material, especialmente entre as décadas de 40 e 70, período que correspondeu à industrialização doutras técnicas construtivas, nomeadamente o betão armado e o tijolo cerâmico (Censos).



Figura 1.2. Distribuição das construções em terra crua (adobe e taipa) em Portugal (Oliveira e Galhano, 1992).

Este tipo de construção era utilizado tanto em pequenos e modestos edifícios de habitação, como em obras de elevada envergadura e importante valor sociocultural e patrimonial, nomeadamente, igrejas e edifícios de características mais nobres, como os de estilo Arte Nova, na cidade de Aveiro, tal como se exemplifica na Figura 1.3.



Figura 1.3. Diferentes tipos de edifícios em alvenaria de adobe existentes em Aveiro (Varum *et al.*, 2010).

Actualmente, segundo estimativa de técnicos da Câmara Municipal de Aveiro, cerca de 25% dos edifícios existentes na cidade de Aveiro são de adobe, aumentando esta percentagem para 40% quando se considera todo o distrito.

Os blocos de adobe na região de Aveiro eram realizados, numa primeira fase, com recurso a terra argilosa, a que por vezes se adicionava palha ou outras fibras vegetais (adobes de terra) e, mais tarde, com recurso a terras mais arenosas à qual se adicionava cal (adobes de cal). Em ambos os casos os materiais eram amassados com água, enformados, e os blocos eram depois secos ao sol. No que diz respeito às dimensões dos adobes, estas variam de região para região, sendo de aproximadamente  $0,45 \times 0,30 \times 0,12 \text{ m}^3$  quando são utilizados em casas e de  $0,45 \times 0,20 \times 0,12 \text{ m}^3$  em muros.

O património em alvenaria de adobe existente no distrito de Aveiro é muito extenso e uma grande parte do mesmo encontra-se ainda em utilização. Porém, pode-se constatar nestes edifícios um nível elevado de degradação e abandono (Silva *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2010). Este problema surge como resultado da escassez de medidas de reabilitação e reforço que, quando ocorrem, são muitas vezes executadas com técnicas e materiais inadequados, devido à falta de conhecimento sobre as características e comportamento das

construções em adobe, bem como sobre soluções de reabilitação e reforço apropriadas. Tendo em conta o estado deste tipo de construções, é de ressaltar o facto de muitas ainda se encontrarem capazes de cumprir as funções para as quais foram construídas.

## **1.2. Objectivos**

O trabalho de investigação desenvolvido tem como principais objectivos contribuir para:

- A caracterização detalhada dos sistemas construtivos e patologias estruturais e não estruturais mais comuns de edifícios representativos da cidade de Aveiro;
- A caracterização mecânica do material adobe tradicionalmente utilizado no distrito de Aveiro;
- A caracterização da relação entre os resultados obtidos para a caracterização mecânica do adobe considerando diferentes procedimentos de ensaio;
- A caracterização do comportamento em corte da alvenaria de adobe característica do distrito de Aveiro.

Pretende-se assim contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre as características e comportamento das construções existentes em adobe no distrito de Aveiro. Este conhecimento constitui uma base de suporte à avaliação de construções existentes, calibração de modelos numéricos, e desenvolvimento e aplicação de medidas de reabilitação e reforço adequadas.

O trabalho apresentado dá continuidade ao trabalho que tem sido desenvolvido por investigadores da Universidade de Aveiro (Varum *et al.*, 2007; Neto, 2008; Silva *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2012).

## **1.3. Metodologia e Estrutura da Dissertação**

Para se contribuir para a caracterização dos sistemas construtivos e patologias estruturais e não estruturais mais comuns dos edifícios em adobe existentes na cidade de Aveiro, realizou-se o levantamento e caracterização detalhada de dois edifícios representativos, seleccionados nesta cidade, aplicando-se fichas de levantamento e avaliação já desenvolvidas e aplicadas em estudos anteriores (Neto, 2008). Este trabalho é apresentado no 2º capítulo.

Para a caracterização mecânica do adobe tradicionalmente utilizado em edifícios existentes no distrito de Aveiro, ensaiou-se, no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, provetes extraídos de blocos de adobe recolhidos em dois edifícios existentes no concelho da Murtosa. Para o estudo da resistência à compressão simples dos blocos, provetes cúbicos e cilíndricos foram ensaiados à compressão simples, comparando-se os resultados obtidos para os dois tipos de provete. Para o estudo da resistência à tracção, provetes cilíndricos foram ensaiados à compressão diametral e provetes paralelepípedicos à flexão, comparando-se também os resultados obtidos para os dois tipos de ensaio. Este trabalho é apresentado no 3º Capítulo.

Para concluir, e para a caracterização do comportamento em corte da alvenaria de adobe característica do distrito de Aveiro, foram construídas e ensaiadas em compressão diagonal às juntas de assentamento cinco paredes com dimensões de  $1,26 \times 1,26 \times 0,35 \text{ m}^3$ , no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Este trabalho é apresentado no 4º Capítulo.



## **Capítulo 2**

### **LEVANTAMENTOS**

---





## 2. LEVANTAMENTOS

De forma a contribuir para a caracterização dos sistemas construtivos e patologias estruturais e não estruturais mais comuns dos edifícios em adobe existentes na cidade de Aveiro, e dando continuidade ao trabalho desenvolvido por investigadores da Universidade de Aveiro (Silveira *et al.*, 2010), caracterizou-se detalhadamente dois edifícios representativos seleccionados na cidade de Aveiro, através da aplicação de fichas de levantamento e avaliação, desenvolvidas e aplicadas em trabalhos anteriores (Neto, 2008).

Começou-se por seleccionar dois edifícios de habitação de alvenaria de adobe, existentes nesta cidade, selecção esta executada com o auxílio da Câmara Municipal de Aveiro.

Para os dois edifícios seleccionados fez-se um levantamento exaustivo através da aplicação das fichas de levantamento e avaliação referidas, apresentadas em Anexo, caracterizando-se os seus sistemas construtivos e patologias. Este levantamento foi complementado com o registo fotográfico de todos os pormenores relevantes.

Posteriormente, desenharam-se as plantas dos edifícios analisados, de modo a ter uma melhor percepção relativamente à localização e às dimensões de cada compartimento, assim como para a identificação das espessuras das paredes e dos respectivos materiais constituintes.

Nestes levantamentos, para classificar o estado de conservação dos diferentes elementos a analisar, utilizou-se uma escala de 1 a 5 ('1'- mau; '3'- razoável; '5'- bom).

### 2.1. Identificação dos Edifícios

Para uma melhor identificação de cada edifício inspeccionado, e de modo a dar continuidade à notação utilizada nos levantamentos efectuados em trabalhos anteriores, adoptou-se a referência H\_028 para um dos edifícios analisados, Figura 2.1 a), e H\_029 para o outro, Figura 2.1 b).



Figura 2.1. a) Edifício H\_028; b) edifício H\_029.

Ambos os edifícios estão localizados na rua Aires Barbosa, situada na cidade de Aveiro, na Freguesia da Glória, e têm as seguintes coordenadas rectangulares: M 8° 38' 53,92'' W, P 40° 38' 2,57'' N para o edifício H\_028, e M 8° 38' 53,72'' W, P 40° 38' 2,32'' N para o edifício H\_029.

A construção destes edifícios data do final do século XIX/início do século XX. Ambos os edifícios estão devolutos, tendo o edifício H\_028 sido abandonado por volta do ano 2000 e o edifício H\_029 entre 2000 e 2010. O estado global de conservação em que se encontram os edifícios foi classificado com '2,5', no caso de H\_028, e com '1,5', no caso de H\_029. Esta classificação global tem em conta o estado de conservação dos vários elementos construtivos que compõem os edifícios.

O edifício H\_028 encontra-se em banda meio, e é constituído por dois pisos, tendo o pé-direito do piso térreo 3,11 m e o do 1º andar 3,36 m. Neste edifício existem aberturas em todas as fachadas. É ainda de salientar que esta habitação tem duas entradas independentes, sendo uma para a zona habitacional principal, situada na ala esquerda, e a outra para uma zona que no passado deveria funcionar como arrecadação, situada na ala direita.

O edifício H\_029 encontra-se em banda extremo, e é constituído apenas pelo piso térreo, com um pé direito de 3,05 m. Neste edifício apenas a fachada principal e a fachada lateral direita apresentam aberturas.

Nas Figuras 2.2 e 2.3 apresentam-se as plantas dos edifícios em estudo. Na planta representada na Figura 2.2 a) estão indicadas a 'ala esquerda' e a 'ala direita'. Da primeira, fazem parte os compartimentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, e da segunda o compartimento 7.

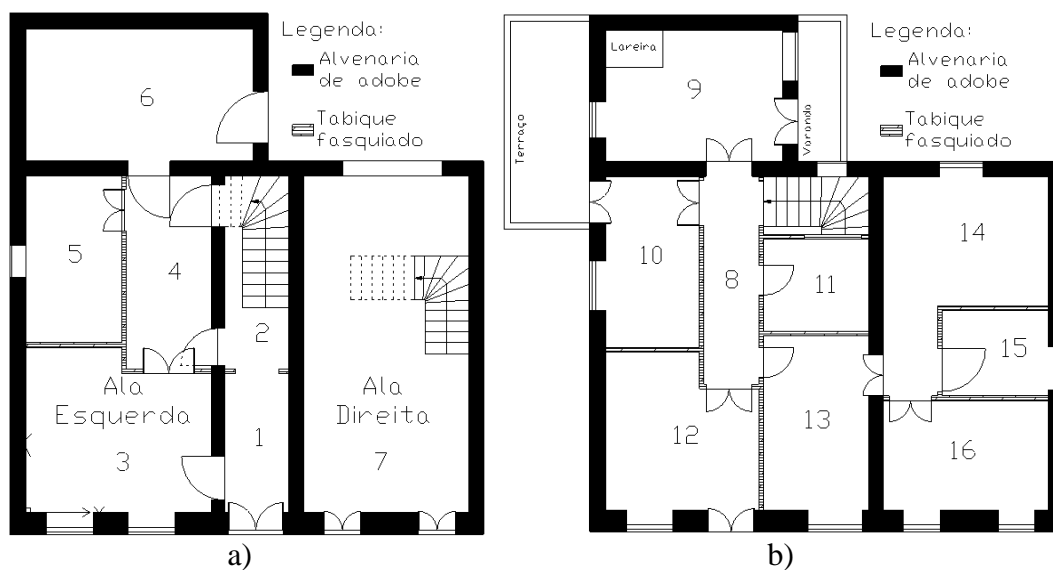


Figura 2.2. Plantas do edifício H\_028 a) piso térreo; b) primeiro piso.

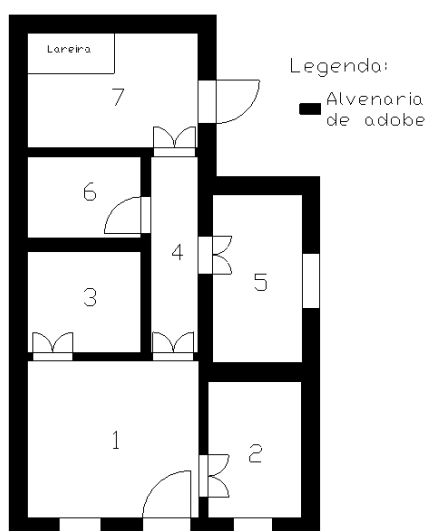


Figura 2.3. Planta do edifício H\_029.

Por último, refere-se que estes edifícios são privados, tendo servido como habitação durante vários anos.

## 2.2. Avaliação da Cobertura

A cobertura do edifício H\_028 encontra-se representada na Figura 2.4, sendo esta revestida por telha Marselha. Na cobertura deste edifício, verifica-se a existência de uma caleira exterior, sendo esta visível na zona das fachadas principal e lateral direita. Além disto, verifica-se também a existência de um beirado com cerca de 30 cm, Figura 2.5 a).

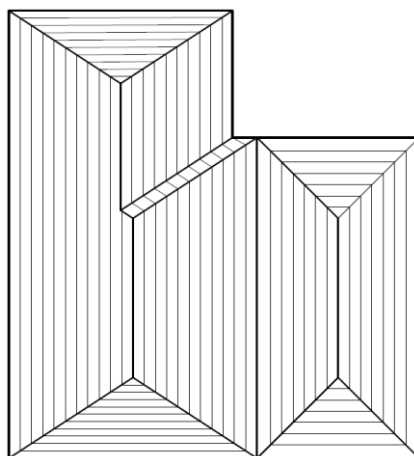


Figura 2.4. Cobertura do edifício H\_028.

A estrutura de suporte da cobertura é em madeira, sendo constituída por asna(s) fechada(s), e a ligação desta estrutura à parede é executada por encaixe dos elementos estruturais de madeira na alvenaria, Figura 2.5 b).

Tendo em conta a pouca visibilidade existente para a estrutura de suporte, não foi possível medir as dimensões dos elementos estruturais, nem tão pouco avaliar o respectivo estado de conservação.

As patologias mais identificadas na cobertura e no respectivo revestimento prendem-se com o envelhecimento/degradação dos materiais estruturais e não estruturais, assim como com a presença de infiltrações de água, condensações interiores, telhas partidas e acumulação de vegetação, musgos e bolores, Figura 2.5 a). Classificou-se o estado de conservação do revestimento da cobertura com '2', e não se atribuiu classificação à estrutura de suporte, uma vez que se consegue observar muito pouco da mesma.

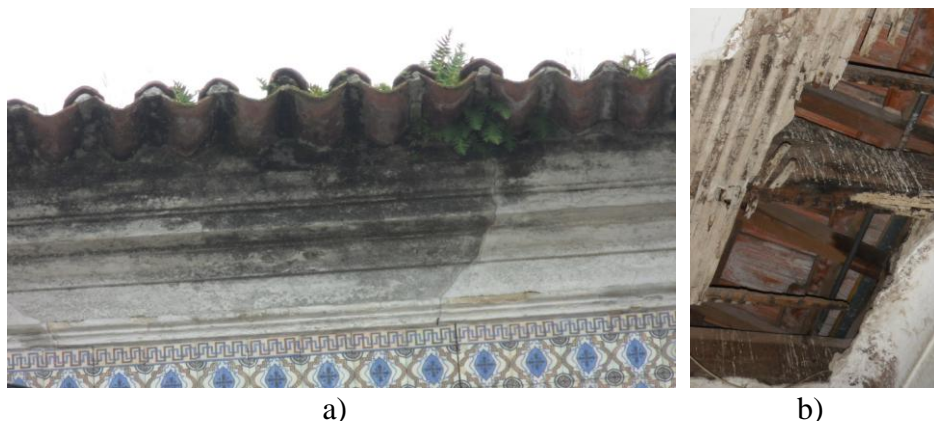


Figura 2.5. Exemplos de patologias na cobertura do edifício H\_028: a) no revestimento exterior; b) nos elementos estruturais.

No edifício H\_029 não foi possível visualizar o número de águas da cobertura, nem se observa a existência de caleiras. Por sua vez, verifica-se a existência de um beirado com cerca de 45 cm, Figura 2.6 a). A cobertura deste edifício encontra-se revestida por telha Marselha.



Figura 2.6. Exemplos de patologias na cobertura do edifício H\_029: a) no revestimento exterior; b) nos elementos estruturais.

Apesar de não ser possível visualizar o tipo de estrutura de suporte existente neste edifício, consegue-se identificar que esta é de madeira devido ao facto de uma pequena área do tecto de um compartimento ter ruído, expondo as vigas de madeira, Figura 2.6 b).

Tendo em conta a impossibilidade de se observar a estrutura de suporte, também não foi possível averiguar as dimensões dos diferentes elementos estruturais.

O envelhecimento/degradação dos materiais estruturais e não estruturais, o desabamento localizado da estrutura, a ausência, desalinhamento e fractura das telhas em algumas zonas, as infiltrações de água, as condensações interiores, e a acumulação de vegetação, musgos e bolores são as patologias mais presentes na cobertura, Figura 2.6. O estado de conservação do revestimento da cobertura foi classificado com '1,5', e não se atribuiu classificação à estrutura de suporte, uma vez que se consegue observar muito pouco da mesma.

### 2.3. Avaliação das Paredes da Fachada

A parede da fachada principal do edifício H\_028 é em alvenaria de adobe, Figura 2.1 a), com uma espessura de 50 cm, estando o seu pano assente à uma vez. Tendo em conta o seu estado de conservação, esta parede foi classificada com '2,5'. Por sua vez, as paredes das fachadas lateral direita, esquerda e posterior, são em alvenaria de adobe com uma espessura de aproximadamente 35 cm, estando o seu pano assente à meia vez. No caso das

paredes das fachadas lateral direita e esquerda, tendo em conta o seu estado de conservação, foram classificadas com '2,5' e '3', respectivamente. Não se classificou a parede posterior, pois não foi possível realizar-se a observação da mesma a partir do exterior do edifício.

Todas as paredes exteriores têm uma função resistente, e a ligação entre elas é executada por encaixe. Relativamente à constituição dos vãos (padieiras), estes são executados com vigas de madeira.

Tanto a fachada lateral direita como a esquerda encontram-se rebocadas, exteriormente, por uma argamassa de areia e cal, e pintadas com tinta de cal. Por sua vez, a fachada principal encontra-se revestida por azulejos cerâmicos não vidrados, estando este revestimento aplicado sobre um reboco de argamassa de areia e cal. Tal como se tinha referido anteriormente, não foi possível visualizar a parede da fachada posterior a partir do exterior do edifício. Tendo em conta o estado de conservação dos revestimentos exteriores das paredes de fachada, estes foram classificados com '3' na fachada principal, e com '2' nas fachadas laterais direita e esquerda.

Na parede da fachada principal verifica-se a existência de um padrão de fissuração com concentração no topo (na cimalha), e uniformemente distribuída em largura. Estas fissuras têm uma orientação essencialmente vertical. Além disto, verifica-se também concentração de fissuras em aberturas com uma orientação essencialmente vertical. Estas fissurações devem-se, possivelmente, a concentrações de tensões nas zonas da cimalha e das aberturas. Nesta parede, observa-se também a existência de humidade ascensional, escorrências, condensações superficiais, envelhecimento dos materiais, destacamento e queda do revestimento, sujidade, musgos e bolores, Figura 2.7.

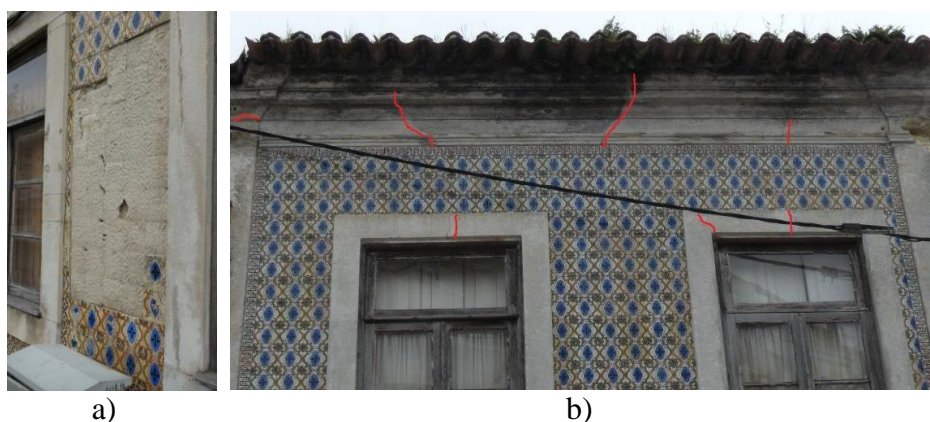


Figura 2.7. Exemplos de patologias existentes na fachada principal do edifício H\_028.



Na parede da fachada lateral direita observa-se a existência de fissuração com orientação vertical na ligação à parede da fachada principal. Esta fissuração deve-se, possivelmente, a movimentos da fachada principal para fora do plano. Nesta parede observa-se também a existência de escorrências, condensações superficiais, envelhecimento dos materiais, destacamento e queda do revestimento, descascamento da tinta, sujeidade, musgos e bolores, Figura 2.8.



Figura 2.8. Paredes da fachada lateral direita do edifício H\_028.

Na parede da fachada lateral esquerda apenas se observou fissuração em aberturas, sem um padrão específico, Figura 2.9 a). Estas fissuras devem-se, possivelmente, a concentração de tensões. Além destas patologias, observa-se também a existência de escorrências, condensações superficiais, envelhecimento de materiais, descascamento de tinta, sujeidade, musgos e bolores, Figura 2.9 b).

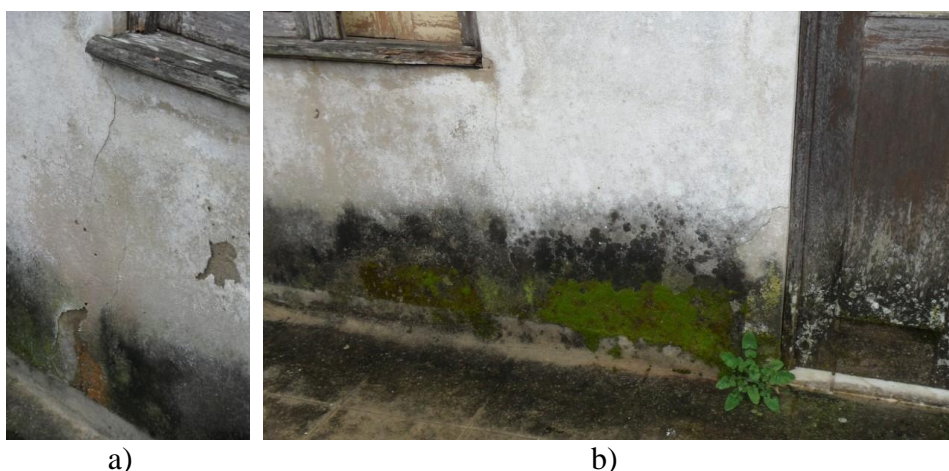


Figura 2.9. Exemplos de patologias existentes na fachada lateral esquerda do edifício H\_028.

Apesar da impossibilidade de visualizar a parede da fachada posterior a partir do exterior, conseguiu-se, a partir do interior, identificar a presença de escorrências nas paredes, assim como de condensações superficiais e envelhecimento dos materiais.

As paredes exteriores do edifício H\_029 são em alvenaria de adobe, com uma espessura de 43 cm. Com esta espessura, o pano poderá estar assente a uma vez ou a meia vez, dependendo das dimensões dos adobes. Estas paredes têm uma função resistente, e o seu estado de conservação foi classificado com '2'.

Neste edifício, apenas se consegue identificar o tipo de revestimento exterior nas paredes da fachada principal, uma vez que não foi possível observar as restantes paredes de fachada a partir do exterior. Este revestimento é constituído por uma camada de argamassa de areia e cal, sobre a qual foi aplicada uma camada de argamassa de cimento, Figura 2.10 a). Esta última camada de revestimento foi executada em intervenções que o edifício sofreu durante o seu funcionamento. A parede de fachada encontra-se pintada, sobre as camadas de argamassa, com tinta de água plástica. Tendo em conta o seu estado de conservação, este revestimento foi classificado com '2'.



Figura 2.10. Exemplos de patologias existentes na fachada principal do edifício H\_029.

Na parede da fachada principal verifica-se a existência de fissuração essencialmente concentrada na zona superior (cimalha), com orientação vertical, e junto às aberturas, com orientação vertical e horizontal, Figura 2.10. Verifica-se também alguma fissuração com orientação essencialmente vertical na zona abaixo das aberturas correspondentes às janelas. Estas patologias devem-se, possivelmente, a concentração de tensões, retracção do revestimento, e à inadaptabilidade e incompatibilidade entre o suporte e o revestimento em argamassa de cimento, Figura 2.10 a).

Além das patologias referidas atrás, também se observa, em todas as fachadas, a existência de humidade ascensional, escorrências, condensações superficiais e o



envelhecimento dos materiais. Observa-se também, e apenas na fachada principal, a existência de destacamento e queda do revestimento, descascamento/empolamento da tinta, sujidade, musgos e bolores, Figura 2.10 b).

## 2.4. Avaliação dos Pavimentos

No edifício H\_028 apenas se consegue visualizar a estrutura de suporte do primeiro piso, sendo impossível analisar a do piso térreo. Deste modo, observa-se a existência de uma estrutura de madeira aparelhada em todo o primeiro piso, excluindo na cozinha (compartimento 5), onde esta é constituída por uma laje de betão armado. Verifica-se que neste piso a ligação da estrutura de suporte do pavimento em madeira às paredes é feita através do encaixe dos elementos estruturais de madeira na alvenaria.

Relativamente aos elementos estruturais visíveis, apenas se conseguiu analisar os barrotes que suportam o primeiro piso, tendo estes uma dimensão de  $0,07 \times 0,18 \text{ m}^2$ , encontrando-se apoiados nas paredes exteriores e na parede de adobe que faz a separação entre a ala esquerda e a ala direita do edifício. Em alguns barrotes, a zona de apoio encontra-se reforçada com madeira ou material cerâmico.

Nos barrotes visíveis observa-se envelhecimento dos materiais, apodrecimento por humidade e a presença de ataques biológicos, Figura 2.11 a). Além destas patologias existentes na estrutura de suporte, verifica-se também a fragilização de ligações e a existência de destacamento de armadura na laje de betão armado respeitante à zona da cozinha, Figura 2.11 b). Tendo em conta estas patologias, a estrutura de suporte respeitante ao edifício H\_028 foi classificada com '2'.



Figura 2.11. a) Patologias presentes nos barrotes que suportam o primeiro piso (edifício H\_028); b) destacamento do recobrimento com corrosão da armadura na laje de betão armado da cozinha (edifício H\_028).

Neste edifício há uma grande variedade de tipos de revestimento dos pavimentos quando analisados todos os compartimentos. Esta variedade é mais verificada no pavimento do piso térreo. Assim, o hall de entrada (compartimento 1) está revestido por mosaico hidráulico, Figura 2.12 a), a sala junto a este hall (compartimento 3) por ladrilho cerâmico, a ala direita da habitação por terra batida e os restantes compartimentos por betonilha. Relativamente ao primeiro piso, observa-se a existência de mosaico hidráulico na cozinha (compartimento 9) e na instalação sanitária (compartimento 11), Figura 2.12 b), e os restantes compartimentos estão revestidos por soalho de madeira, Figura 2.12 c).

Nos revestimentos do piso térreo, tanto nos mosaicos hidráulicos como na betonilha, verifica-se a existência de desgaste e envelhecimento dos materiais. Nos soalhos de madeira existentes no primeiro piso, verifica-se a presença de ataques biológicos, envelhecimento da madeira, e fissuração do soalho, Figura 2.12 c), enquanto que nos mosaicos hidráulicos existentes no mesmo piso apenas se constata o envelhecimento dos materiais. Tendo em conta estas patologias, o estado de conservação dos revestimentos foi classificado com ‘3’ para o piso térreo, e com ‘1,5’ para o primeiro piso.

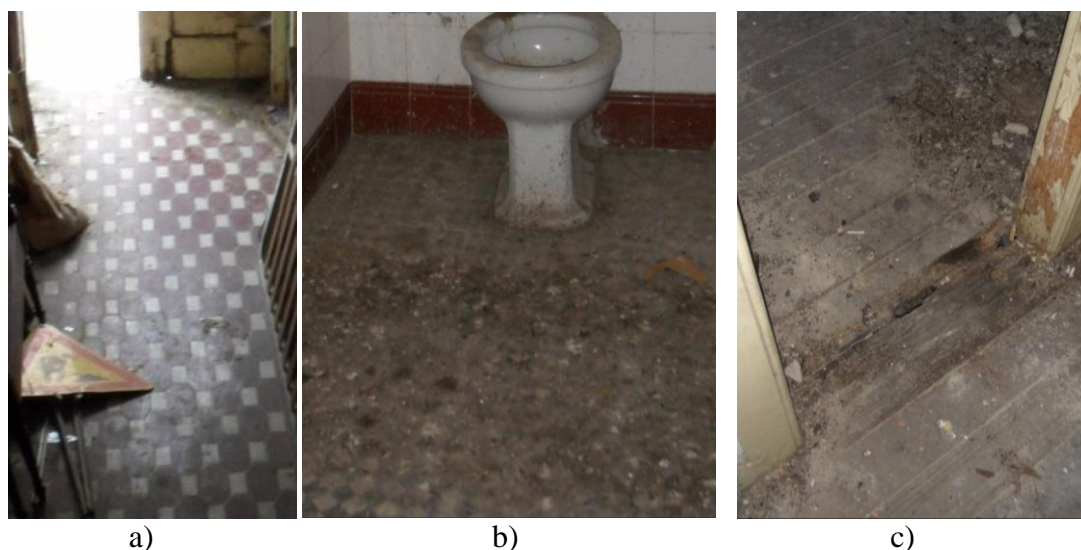


Figura 2.12. Revestimentos dos pavimentos do edifício H\_028: a) com mosaico hidráulico no hall de entrada (piso térreo); b) com mosaico hidráulico na instalação sanitária (primeiro piso); c) com madeira nos restantes compartimentos do primeiro piso.

No edifício H\_029 não se conseguiu observar a estrutura de suporte do pavimento do piso térreo, tendo sido apenas possível analisar o revestimento do pavimento. Observa-se assim a existência de um revestimento em taco colado de madeira em todos os compartimentos, Figura 2.13 a), excluindo na cozinha (compartimento 7), que é revestida por soalho em

algumas zonas, e por betonilha noutras zonas, e sobre os quais foi colocada uma tela plástica, Figura 2.13 b). O revestimento de madeira encontra-se em muito mau estado de conservação, devido, em grande parte, à acção de água entrada pela cobertura (apodrecimento por humidade). Além disto, verifica-se também a ocorrência de ataques biológicos, fissuração e envelhecimento dos materiais. Relativamente à betonilha existente na cozinha (compartimento 7) é de notar o desgaste e envelhecimento da mesma. Tendo em conta a severidade das patologias existentes, o estado de conservação dos revestimentos foi classificado com '1'.



Figura 2.13. Revestimentos dos pavimentos do edifício H\_029: a) em taco colado de madeira; b) em soalho e betonilha, sob tela plástica, na cozinha.

## 2.5. Avaliação das Paredes Interiores

As paredes interiores do edifício H\_028 são, tanto no piso térreo como no 1º piso, em alvenaria de adobe e tabique fasquiado, encontrando-se este último com mais frequência no 1º piso.

Relativamente à espessura das paredes de adobe, no piso térreo identificam-se duas espessuras diferentes, sendo estas de 0,32 m e 0,35 m, enquanto que no primeiro piso apenas se identifica uma espessura para este tipo de paredes, sendo esta de 0,35 m. As paredes de tabique fasquiado têm uma espessura de 0,11 m em ambos os pisos.

Tal como as paredes exteriores, as paredes interiores em alvenaria de adobe tem uma função resistente, o que não acontece com as paredes em tabique fasquiado.

O estado de conservação das paredes interiores foi classificado com ‘3’ para as paredes do piso térreo e com ‘2,5’ para as paredes do primeiro piso, uma vez que neste piso algumas paredes encontram-se em pior estado.

As paredes são revestidas por uma camada de argamassa de areia e cal, e por uma camada superior de argamassa de cimento. Este último revestimento foi executado em intervenções que o edifício sofreu durante a sua utilização. As paredes encontram-se ainda pintadas com tinta de água plástica, Figura 2.14 a), excluindo na cozinha (compartimento 9), Figura 2.14 b), na instalação sanitária (compartimento 11), Figura 2.14 c), e no hall de entrada (compartimento 1). Nestes três compartimentos, as paredes são revestidas, na zona inferior, por um lambril em azulejo cerâmico, e acima deste por tinta de água plástica.



Figura 2.14. Revestimento de paredes interiores do edifício H\_028: a) paredes pintadas com tinta de água plástica; b) paredes da cozinha; c) paredes da instalação sanitária.

Nas paredes do piso térreo verifica-se a presença de manchas de humidade, danificação dos materiais, escorrências, fissuração e fragilização da ligação das paredes à restante estrutura, Figura 2.15 a). No piso superior, além das patologias referidas atrás, observa-se também a presença de bolores e descasque de tinta, Figuras 2.15 b) e 2.15 c). O estado de conservação do revestimento das paredes foi classificado com ‘3’ para as paredes do piso térreo e com ‘2,5’ para as paredes do 1º piso.





Figura 2.15. Patologias em paredes interiores do edifício H\_028: a) paredes em adobe do piso térreo; b) paredes em tabique do primeiro piso; c) paredes em adobe do primeiro piso.

Relativamente às paredes interiores do edifício H\_029, verifica-se apenas a existência de paredes em alvenaria de adobe.

A espessura destas paredes é muito variável, indo desde 0,19 m até 0,46 m. Esta notória variação nas espessuras poderá ser justificada pelo facto de, no passado, paredes com maior espessura terem sido paredes exteriores. Tal como as paredes exteriores, as paredes em adobe interiores também tem uma função resistente. O estado de conservação das paredes interiores foi classificado com ‘2,5’.

Estas paredes, tal como no edifício H\_028, estão revestidas por um reboco com uma primeira camada de argamassa de areia e cal, e uma camada superior de argamassa de cimento. Do mesmo modo que no edifício H\_028, este último revestimento foi executado em intervenções que o edifício sofreu durante a sua utilização. As paredes interiores encontram-se ainda pintadas com tinta de água plástica, Figura 2.16 a), excluindo no compartimento à direita da entrada (compartimento 2), Figura 2.16 b), onde as paredes estão revestidas com um material plástico, e na cozinha (compartimento 7), onde as paredes são revestidas, na zona inferior, por um lambril em azulejo cerâmico, e acima do lambril por tinta de água plástica, Figura 2.16 c).

Nestas paredes, Figura 2.16, observou-se a existência de manchas de humidade e de sujidade, bolores, descasque de tinta, queda do reboco, danificação dos materiais, escorrências, fissuras e fragilização da ligação das paredes à restante estrutura. O estado de conservação dos revestimentos destas paredes foi classificado com ‘1,5’.



Figura 2.16. Paredes interiores do edifício H\_029: a) hall de entrada (compartimento 1); b) compartimento à direita da entrada (compartimento 2); c) cozinha (compartimento 7).

## 2.6. Avaliação dos Tectos

Os tectos do edifício H\_028, tanto no piso térreo como no primeiro piso, são em estuque pintado, aplicado sobre ripado de madeira, exceptuando numa zona do edifício, no primeiro piso, que tem tecto em madeira.

No tecto do piso térreo observa-se a existência de manchas de humidade, bolores, danificação das madeiras, fissuração e envelhecimento dos materiais, Figura 2.17.



Figura 2.17. Patologias visíveis no tecto do piso térreo do edifício H\_028.

No primeiro piso, além das patologias referidas anteriormente, também se verifica a queda do estuque e o apodrecimento das madeiras. Em alguns compartimentos deste piso, é

possível observar o ripado de madeira que serve de suporte ao estuque de tecto, Figura 2.18 a), assim como também é possível verificar, em algumas zonas, a falta deste, Figura 2.18 b). Tendo em conta estas anomalias, classificou-se o estado de conservação de todos os tectos do piso térreo com '2,5'. Para os tectos do primeiro piso, atribuiu-se '4' aos de madeira e '2' aos restantes.



Figura 2.18. Algumas patologias visíveis no tecto do primeiro piso do edifício H\_028.

Os tectos do edifício H\_029 são em madeira, Figura 2.19. Tendo em conta as patologias presentes nestes tectos, tais como manchas de humidade, manchas de sujidade, bolores, danificação e envelhecimento das madeiras, classificou-se o seu estado de conservação com '3'. Além destas anomalias, no compartimento contíguo (à direita) à comunicação horizontal (compartimento 5), observa-se a inexistência de uma parte da cobertura, Figura 2.20, o que provoca diversos problemas relacionados com a entrada da água tanto para as paredes, como para o pavimento do compartimento. Ao estado de conservação do tecto deste último espaço atribuiu-se a classificação de '1'.



Figura 2.19. Tectos do edifício H\_029: a) compartimento à direita da entrada (compartimento 2); b) comunicação horizontal (compartimento 4); c) cozinha (compartimento 7).



Figura 2.20. Pormenor do tecto no compartimento à direita da comunicação horizontal (compartimento 5) do edifício H\_029.

## 2.7. Avaliação de Caves e Fundações

Verificou-se a inexistência de pisos enterrados (caves) nos edifícios analisados, não havendo também quaisquer vestígios de escavações posteriores à construção.

Em nenhum dos edifícios foi possível identificar o tipo de fundações, nem o respectivo estado de conservação.

## 2.8. Avaliação de Outros Elementos Estruturais

No edifício H\_028, na fachada posterior, no R/C da ala direita, verifica-se a existência de um vão com padieira em arco, Figura 2.21. Este é constituído por tijolo burro, e o seu vão é de aproximadamente 2,3 m. O estado de conservação deste arco foi classificado com ‘4’.



Figura 2.21. Arco existente no Edifício H\_028.



Em ambos os edifícios, tanto os barrotes que suportam o pavimento, como os elementos constituintes da cobertura, apoiam-se directamente nas paredes, tal como já foi referido anteriormente, não existindo, deste modo, pilares.

No edifício H\_028 existem duas escadas interiores em madeira, que fazem a ligação entre os dois pisos, estando uma localizada na ala esquerda do edifício e a outra na ala direita, Figura 2.22. Classificou-se o estado de conservação da primeira com ‘4’, e o da segunda, tendo em conta a sua degradação e apodrecimento devido à humidade, foi classificado com ‘2’.

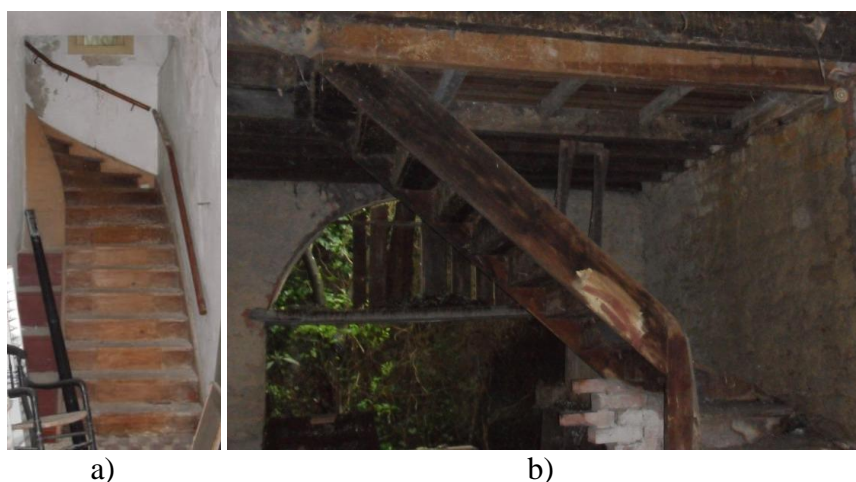


Figura 2.22. Escada na ala esquerda de H\_028; b) escada na ala direita de H\_028.

## 2.9. Materiais Tradicionais Constituintes das Alvenarias de Adobe

No que diz respeito ao tipo de alvenaria de adobe existente em cada edifício, verifica-se que em H\_028 apenas é possível visualizar a alvenaria de adobe na ala direita, enquanto que em H\_029 é impossível a sua visualização.

No edifício H\_028 observa-se, em duas paredes opostas, a presença de dois tipos de adobe diferentes. Um dos tipos de adobe, de cor alaranjada, apresenta um comprimento de 0,43 m e altura de 0,09 m, não sendo possível medir a sua largura, por se encontrar aplicado a meia vez, Figura 2.23 a). O outro tipo de adobe, de cor bege escura, apresenta uma largura de 0,28 m e altura de 0,11 m, não sendo possível medir o seu comprimento, por se encontrar aplicado a uma vez, Figura 2.23 b). Os dois tipos de bloco de adobe são constituídos por areia e cal.

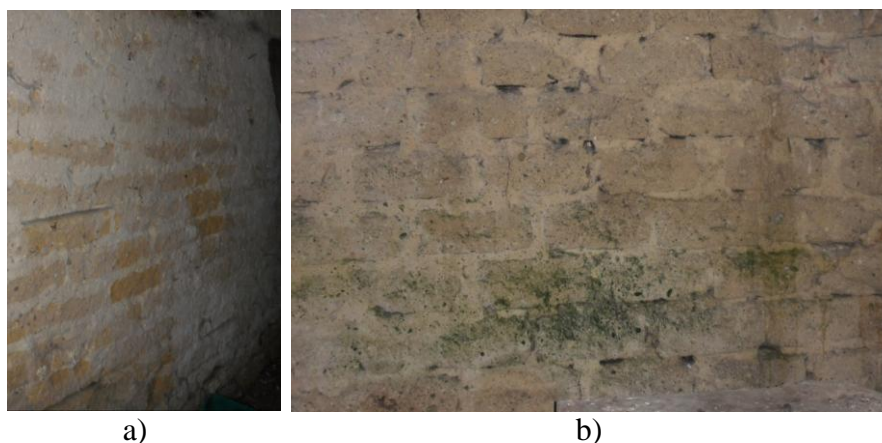


Figura 2.23. Dois tipos de adobe presentes no edifício H\_028: a) adobe de cor alaranjada; b) adobe de cor bege escura.

A argamassa de junta tradicional também só é visível na ala direita do edifício H\_028, apresentando uma espessura de 2 cm, cor bege, e sendo também constituída por areia e cal, Figura 2.23. No outro edifício em estudo, a argamassa de junta tradicional não é visível.

A argamassa de revestimento tradicional, no edifício H\_028, apenas é visível no exterior do edifício, sendo impossível medir a sua espessura. Esta argamassa apresenta uma cor bege clara, e é constituída por areia e cal, Figuras 2.8 e 2.24.



Figura 2.24. Argamassa de revestimento tradicional na fachada lateral esquerda do edifício H\_028.

No edifício H\_029, consegue-se observar a argamassa de revestimento tradicional tanto no interior, Figura 2.25 a), como no exterior do edifício, Figura 2.25 b). Assim, apesar de ser impossível medir a sua espessura, verifica-se que esta argamassa apresenta uma cor bege escura, e é constituída por areia e cal.

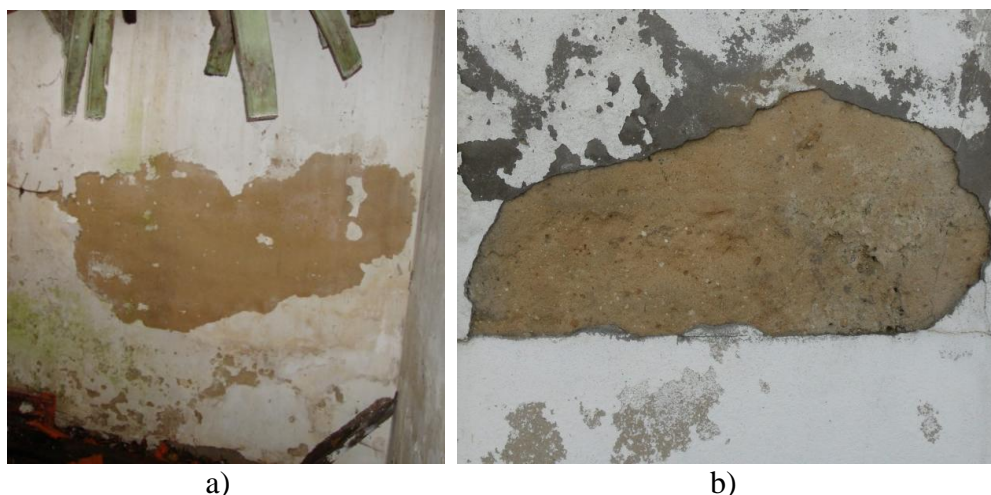


Figura 2.25. Argamassa de revestimento tradicional no edifício H\_029: a) no interior; b) no exterior.

## 2.10. Observação do Terreno e da Vizinhança do Edifício

Na observação dos terrenos envoltivos aos edifícios em estudo (H\_028 e H\_029), verificou-se que não existem desníveis, nem deslocamentos horizontais ou verticais.

Dos dois edifícios analisados, apenas o H\_029 tem um muro a delimitar parte da propriedade, sendo este de alvenaria de tijolo cerâmico. Neste muro observa-se a desagregação e envelhecimento do material, sendo o seu estado de conservação avaliado com '2,5', Figura 2.26.



Figura 2.26. Pormenor das patologias presentes no muro do edifício H\_029.

Na observação exterior dos edifícios confinantes às habitações em estudo, verificou-se a semelhança no tipo de construção, e na idade dos edifícios. Observou-se também que o edifício H\_028 está inserido entre dois edifícios de altura inferior, sendo um deles o edifício H\_029, e que o edifício H\_029 apenas tem um edifício confinante de altura superior, sendo este o edifício H\_028, Figura 2.27.



Figura 2.27. Edifícios confinantes às habitações.

Tal como os edifícios em estudo, os edifícios confinantes não possuem cave.

## 2.11. Conclusões

Concluiu-se que ambos os edifícios analisados datam do final do século XIX/início do século XX, tendo sido abandonados por volta da mesma altura (entre 2000 e 2010). Estes edifícios são diferentes no que concerne ao número de pisos, sendo um deles constituído por dois pisos (H\_028), e o outro apenas pelo piso térreo (H\_029). Relativamente ao estado de conservação global destes edifícios, considerando os vários elementos construtivos, o edifício H\_028 encontra-se em melhor estado ('2,5') que o edifício H\_029 ('1,5').

Ambos os edifícios possuem uma cobertura com estrutura em madeira, revestida com telha Marselha. Não foi possível, nos dois edifícios, ter acesso à cobertura pelo interior, no entanto, no edifício H\_028, foi possível identificar a existência de uma estrutura com asna fechada.

As paredes da fachada são em alvenaria de adobe e apresentam espessuras entre 35 e 50 cm. Estas têm uma função resistente, e a ligação entre as mesmas é executada por encaixe. No que respeita às paredes interiores em adobe, a sua espessura média é de 34 cm, enquanto que as paredes interiores em tabique têm uma espessura de cerca de 11 cm (edifício H\_28).

Relativamente aos pavimentos dos dois edifícios, apenas se conseguiu visualizar a estrutura de suporte do primeiro piso do edifício H\_028, sendo esta de madeira aparelhada em praticamente todo o piso, excluindo numa zona (cozinha) em que esta é constituída por uma laje de betão armado. Verifica-se que neste piso a ligação da estrutura de suporte do pavimento em madeira às paredes é feita através do encaixe dos elementos estruturais de madeira na alvenaria. Estes pavimentos encontram-se revestidos com diferentes materiais consoante o compartimento, observando-se a existência de soalho de madeira, mosaico hidráulico, mosaico cerâmico, betonilha e taco colado de madeira.

As patologias mais identificadas na cobertura e no respectivo revestimento prendem-se com o envelhecimento/degradação dos materiais estruturais e não estruturais, o desabamento localizado da estrutura (H\_029), assim como com a presença de infiltrações de água, condensações interiores, a ausência, desalinhamento e fractura das telhas em algumas zonas, e a acumulação de vegetação, musgos e bolores.

No que respeita às patologias presentes nas paredes de fachada, observa-se a existência de fissuras, nomeadamente na cimalha e junto a aberturas, humidade ascensional, escorrências, condensações superficiais, envelhecimento dos materiais, destacamento e queda do revestimento, sujidade, musgos e bolores.

Relativamente às patologias presentes nas paredes interiores, verifica-se a presença de manchas de humidade e sujidade, bolores, descasque de tinta, queda de reboco, danificação dos materiais, escorrências, fissuração e fragilização da ligação das paredes à restante estrutura.

Na estrutura de suporte dos pavimentos, observa-se o envelhecimento dos materiais, apodrecimento por humidade e presença de ataques biológicos. Além destas patologias, verifica-se também a fragilização de ligações e a existência de destacamento de armadura na laje de betão armado respeitante à zona da cozinha do edifício H\_028. Relativamente às deficiências relacionadas com o revestimento dos pavimentos, visualiza-se a existência de desgaste e envelhecimento dos materiais, apodrecimento por humidade, ocorrência de ataques biológicos e fissuração.

Relativamente às patologias presentes nos tectos dos edifícios, verifica-se a existência de manchas de humidade e de sujidade, bolores, danificação das madeiras, queda do estuque, apodrecimento das madeiras, fissuração e envelhecimento dos materiais.

Com a informação recolhida e analisada concluiu-se que as patologias mais severas existentes nos edifícios se devem a deficiências na cobertura, nomeadamente à ausência, desalinhamento e fractura das telhas, e ao desabamento parcial da cobertura (verificado no edifício H\_029), problemas estes que facilitam a entrada de água da chuva nos edifícios.

## **Capítulo 3**

### **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE**

---





### 3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE

Na investigação do comportamento mecânico da alvenaria de adobe, o estudo do comportamento mecânico dos blocos de adobe é um importante primeiro passo (Morel *et al.*, 2007). É importante referir, no entanto, que ensaios conduzidos em provetes de adobe podem ser apenas utilizados como indicadores da qualidade do adobe, e não da alvenaria (Ottazzi, 1998; NTE E.080, 2000).

Investigadores da Universidade de Aveiro têm vindo a desenvolver trabalho para o estudo do comportamento mecânico em compressão e tracção do adobe tradicionalmente usado no distrito de Aveiro (Silveira *et al.*, 2012).

As normas específicas para a construção em adobe consultadas (NZS 4298, 1998; NTE E.080, 2000; NMAC, 2009) indicam, para a determinação da resistência à tracção, ensaios de flexão e, para a determinação da resistência à compressão, ensaios sobre blocos de adobe ou cubos. Por sua vez, o manual australiano (Walker, 2002) admite a possibilidade de se ensaiar à compressão blocos de adobe ou provetes cilíndricos. Na Universidade de Aveiro, os ensaios de compressão simples têm sido realizados sobre provetes cilíndricos, e para a determinação da resistência à tracção têm sido realizados ensaios de compressão diametral (Silveira *et al.*, 2012).

A extracção de provetes cilíndricos é mais simples que a extracção de cubos, sempre que o material não apresente uma granulometria muito grossa e apresente uma boa coesão dos agregados. Por outro lado, quando se conduz ensaios de compressão simples em cilindros com uma proporção altura/diâmetro de aproximadamente 2, a tensão de rotura é mais próxima da resistência à compressão não confinada, quando comparada com a obtida no ensaio de cubos ou blocos (de acordo com testes conduzidos em provetes de betão) (Illston e Domone, 2010). Os ensaios de compressão diametral também apresentam vantagens relativamente aos ensaios de flexão – um ensaio de compressão diametral aproxima-se mais de um ensaio de tracção directa e os resultados obtidos são menos variáveis que os obtidos num ensaio de flexão (de acordo com testes conduzidos em provetes de betão) (Lamond e Pielert, 2006).

Não existem, no entanto, para o adobe, estudos que estabeleçam uma relação entre os resultados obtidos com os diferentes procedimentos referidos – ensaio de flexão *versus* ensaio de compressão diametral e ensaio de compressão simples de provetes paralelepípedicos/cúbicos *versus* ensaio de compressão simples de provetes cilíndricos. Os objectivos do trabalho desenvolvido e apresentado de seguida são, por um lado, contribuir com mais informação para a caracterização mecânica do material adobe tradicionalmente utilizado no distrito de Aveiro e, por outro lado, contribuir com uma primeira proposta para as relações entre os resultados obtidos com os diferentes procedimentos referidos.

### 3.1. Recolha de Amostras e Procedimentos Gerais de Ensaio

Procedeu-se, inicialmente, à recolha de blocos de adobe das paredes de alvenaria de dois edifícios de habitação existentes no município da Murtosa, no distrito de Aveiro, Figura 3.1. Estes edifícios receberam as denominações H12 e H13, continuando-se a numeração utilizada no trabalho de caracterização já desenvolvido (Silveira *et al.*, 2012). Aquando da recolha, o edifício H12 encontrava-se em processo de reabilitação, e o edifício H13 em processo de demolição.



Figura 3.1. a) Edifício H12; b) Edifício H13.

Na recolha dos adobes, optou-se, sempre que possível, pelos blocos que se encontravam em melhor estado de conservação, evitando-se aqueles que apresentavam danos significativos. Os blocos recolhidos no edifício H12 apresentavam uma cor bege, dimensões médias de  $0,41 \times 0,28 \times 0,13 \text{ m}^3$ , e peso volúmico de  $17,09 \text{ kN/m}^3$ , Figura 3.2 a). Os blocos recolhidos no edifício H13 apresentavam uma cor bege um pouco

mais escura, dimensões médias de  $0,47 \times 0,33 \times 0,12 \text{ m}^3$ , e peso volúmico de  $14,77 \text{ kN/m}^3$ , Figura 3.2 b).



Figura 3.2. a) Bloco de adobe do edifício H12; b) Bloco de adobe do edifício H13.

Para facilitar a análise, os provetes extraídos dos blocos de adobe foram classificados de acordo com a sua proveniência e o tipo de ensaio realizado. A notação adoptada foi a seguinte:

$$H_i - a_j - \left\{ \begin{matrix} clc \\ clt \\ cb \\ pr \end{matrix} \right\} k$$

sendo:

- H* tipo de construção: casa;
- a* tipo de material: unidade de adobe;
- clc* provete cilíndrico, ensaiado à compressão simples;
- clt* provete cilíndrico, ensaiado à compressão diametral (tracção);
- cb* provete cúbico, ensaiado à compressão simples;
- pr* provete paralelepípedo, ensaiado à flexão;
- i* índice que representa o número da construção à qual a unidade de adobe pertence;
- j* índice que representa o número da unidade de adobe;
- k* índice que representa o número do provete ensaiado.

Procedeu-se então ao estudo do comportamento mecânico em compressão e tracção dos blocos de adobe recolhidos. Para isso realizou-se ensaios de compressão simples sobre

provetes cúbicos e provetes cilíndricos, ensaios de flexão sobre provetes paralelepípedicos e ensaios de compressão diametral sobre provetes cilíndricos.

Para os procedimentos de ensaio à flexão e à compressão simples teve-se como referência o manual australiano (Walker, 2002), e para os procedimentos de ensaio à compressão diametral teve-se como referência a recomendação técnica do RILEM (CPC 6, 1994). As indicações destes documentos foram tidas apenas como linhas orientadoras, não tendo sido seguidas rigorosamente devido a limitações das condições laboratoriais disponíveis, e uma vez que estas indicações dizem respeito a materiais para construções novas e o presente estudo está direccionado para materiais de construções existentes.

Todos os provetes foram ensaiados na Prensa digital para ensaios CBR, Marshall e Triaxial existente no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Estes ensaios consistiram na aplicação sobre o provete de uma carga uniforme, sem choques, aumentada continuamente até à rotura. Para os ensaios de flexão e compressão diametral utilizou-se, na prensa digital, um anel com uma carga máxima de 10 kN, e para os ensaios de compressão simples utilizou-se um anel com uma carga máxima de 50 kN.

Nos ensaios de compressão simples, para a medição das deformações verticais e horizontais dos provetes, utilizou-se potenciómetros da marca Gefran, com curso de 50 mm, e precisão de centésima de milímetro.

## **3.2. Ensaaios para Determinação da Resistência à Tracção**

### **3.2.1. Ensaaios de Flexão**

Para este ensaio, tendo em conta as dimensões da prensa de ensaio utilizada, foi necessário realizar o corte das faces laterais dos blocos, de forma a diminuir a sua largura, Figura 3.3 a). Além disto, também se regularizou a base dos blocos de modo a que esta ficasse paralela ao sistema de suporte, Figura 3.3 b). Os provetes resultantes apresentavam, para o edifício H12 e H13, dimensões médias de  $0,39 \times 0,26 \times 0,12 \text{ m}^3$  e de  $0,47 \times 0,24 \times 0,10 \text{ m}^3$ , respectivamente.



Figura 3.3. a) Regularização da base dos blocos; b) Corte das faces laterais do bloco.

Cada provete foi apoiado sobre duas barras metálicas, num sistema construído à medida, tal como mostra a Figura 3.4 a). Quando a regularização da base do adobe não foi suficiente, colocou-se uma camada de argamassa de areia fina na zona dos apoios, Figura 3.4 b). A carga foi aplicada centralmente com uma barra metálica semelhante às barras do sistema de apoio, Figura 3.5.



Figura 3.4. a) Provete sobre o apoio; b) Colocação da argamassa para regularização.

O manual seguido (Walker, 2002) indica que o ensaio de flexão deve ser executado a uma velocidade, em força, de 2 a 6 kN por minuto. Visto a prensa existente no Laboratório de Engenharia Civil apenas permitir o controlo da velocidade em deslocamentos, adoptou-se uma velocidade de 1,5 mm/min, recomendada neste manual para o ensaio de compressão simples de provetes de adobe.



Figura 3.5. Ensaio de Flexão.

Para os blocos do edifício H12, a rotura deu-se para uma força máxima média de 4,66 kN, e para os blocos do edifício H13, esta, ocorreu para uma força máxima média de 1,16 kN.

A partir da força de rotura, calculou-se a tensão de rotura, dada pela Expressão (1) (Walker, 2002):

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot l \cdot F}{2 \cdot b \cdot H^2} \quad (1)$$

sendo:

- $\sigma_f$       resistência à flexão, MPa;
- $F$         força máxima, N;
- $b$         largura do provete, mm;
- $H$         altura do provete, mm;
- $l$         distância entre os apoios, mm, Figura 3.6.

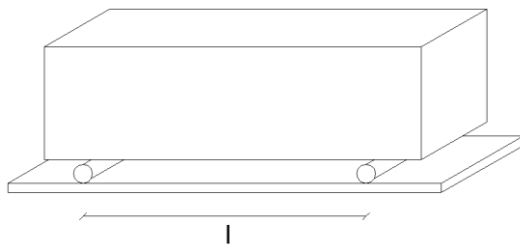


Figura 3.6. Distância entre os apoios.



Assim, obteve-se uma tensão de rotura média de 0,66 MPa, para os adobes do edifício H12, e de 0,23 MPa, para os adobes do edifício H13. Comparando-se estes dois valores, pode-se concluir que a tensão de rotura dos adobes do primeiro edifício é 2,9 vezes superior à do segundo edifício. Na Figura 3.7 mostra-se o modo de rotura de uma das amostras, que corresponde ao modo de rotura característico em ensaios de flexão. Este tipo de rotura deu-se em todas as amostras.



Figura 3.7. Modo de rotura nos ensaios de flexão.

### **3.2.2. Ensaios de Compressão Diametral**

De modo a ser possível comparar os resultados obtidos nos ensaios de compressão diametral com os obtidos nos ensaios de flexão, extraiu-se, por corte rotativo, provetes cilíndricos das metades resultantes do ensaio de flexão, Figuras 3.8 a) e 3.8 b). Os provetes dos adobes do edifício H12 foram extraídos com diâmetros de 90 mm, e os provetes dos adobes do edifício H13 com diâmetros entre 80 e 85 mm. A variação de diâmetros deve-se à diferente erosão sofrida pelo material dos provetes aquando da passagem da broca.

De seguida, realizou-se o corte das faces de topo dos provetes cilíndricos, garantindo-se a sua regularização e perpendicularidade em relação ao eixo. Os provetes foram cortados com uma proporção altura/diâmetro igual a 2, sempre que possível, e nunca inferior a 1, de acordo com as indicações da recomendação técnica do RILEM (CPC 6, 1994), Figura 3.8 c).

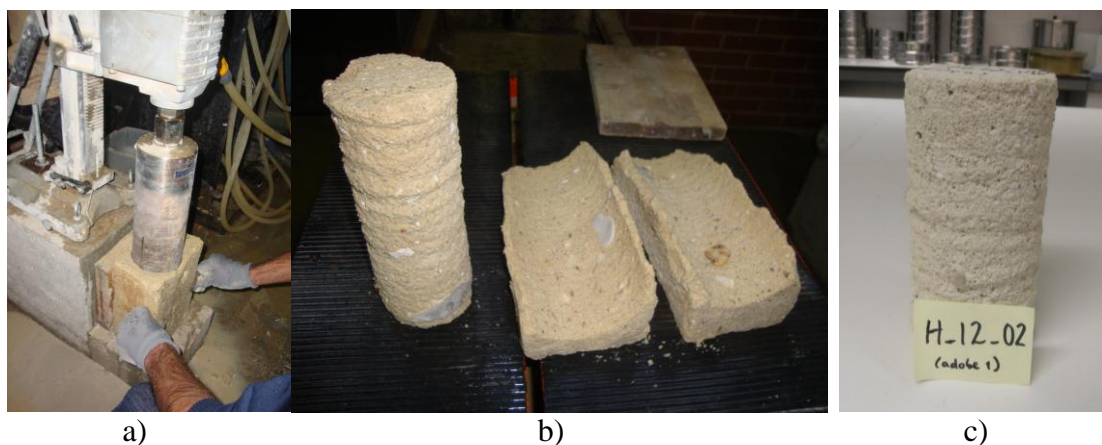


Figura 3.8. a) Extracção de provete; b) Provete antes do corte das faces de topo; c) Provete final.

Cada provete foi colocado no sistema próprio para o ensaio de compressão diametral, tal como mostra a Figura 3.9.



Figura 3.9. Ensaio de compressão diametral.

Neste ensaio adoptou-se uma velocidade de 1,50 mm/min, respeitando deste modo o intervalo indicado no manual australiano (Walker, 2002) para os ensaios de compressão simples (1 a 5 mm/min). Neste ensaio não se considerou os limites da recomendação técnica do RILEM, pois estes dizem respeito a uma prensa cuja velocidade é controlada em força, e a prensa existente no laboratório apenas controla a velocidade em deslocamento, e



também porque a recomendação técnica do RILEM é direccionada para o betão, que possui rigidez e resistência superiores às do adobe (CPC 6, 1994).

Obteve-se, em todos os provetes, um modo de rotura que corresponde ao modo de rotura típico nos ensaios de compressão diametral, como se pode observar na Figura 3.10.

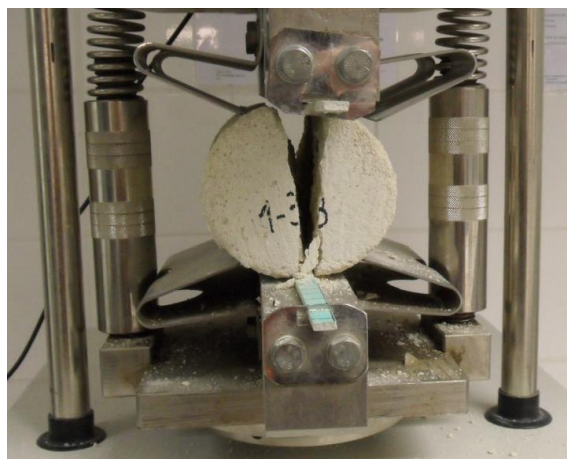


Figura 3.10. Rotura do provete cilíndrico sujeito à compressão diametral.

A rotura deu-se para uma força máxima média de 4,37 kN para o edifício H12, e de 0,89 kN para o edifício H13.

A tensão de rotura é calculada através da Expressão (2), (CPC 6, 1994).

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H} \quad (2)$$

sendo:

$\sigma_t$       resistência à compressão diametral, MPa;

$F$         força máxima, N;

$D$         diâmetro do provete, mm;

$H$         altura do provete, mm.

Obteve-se uma tensão de rotura média de 0,21 MPa para o edifício H12, e de 0,04 MPa para o edifício H13. Comparando-se estes dois valores, pode-se concluir que a tensão resistente dos adobes do primeiro edifício é 4,7 vezes superior à do segundo edifício.

### 3.2.3. Comparação de Resultados

A partir das metades resultantes de cada adobe ensaiado à flexão extraiu-se, sempre que possível, provetes cilíndricos para ensaiar à compressão diametral. Em adobes com partículas de maiores dimensões na sua constituição não foi possível, na maioria dos casos, a extracção de provetes cilíndricos, uma vez que, durante o corte, essas partículas danificaram os provetes. No caso dos adobes em que se extraiu mais que um provete cilíndrico, foi calculada uma média das resistências obtidas no ensaio de compressão diametral de todos os provetes extraídos, para comparação com o resultado obtido à flexão.

Foi traçado um gráfico onde se representou a resistência à tracção resultante do ensaio de flexão em função da resistência à tracção resultante do ensaio de compressão diametral, com o objectivo de se estudar a sua correlação. Foi então traçada uma recta, passando pela origem, resultante da regressão linear dos resultados obtidos recorrendo ao método dos mínimos quadrados, Figura 3.11.

Assim, de acordo com a correlação obtida, a resistência à tracção do provete paralelepípedo quando ensaiado à flexão é cerca de 2,7 vezes maior que a resistência à tracção dos provetes cilíndricos quando ensaiados à compressão diametral.

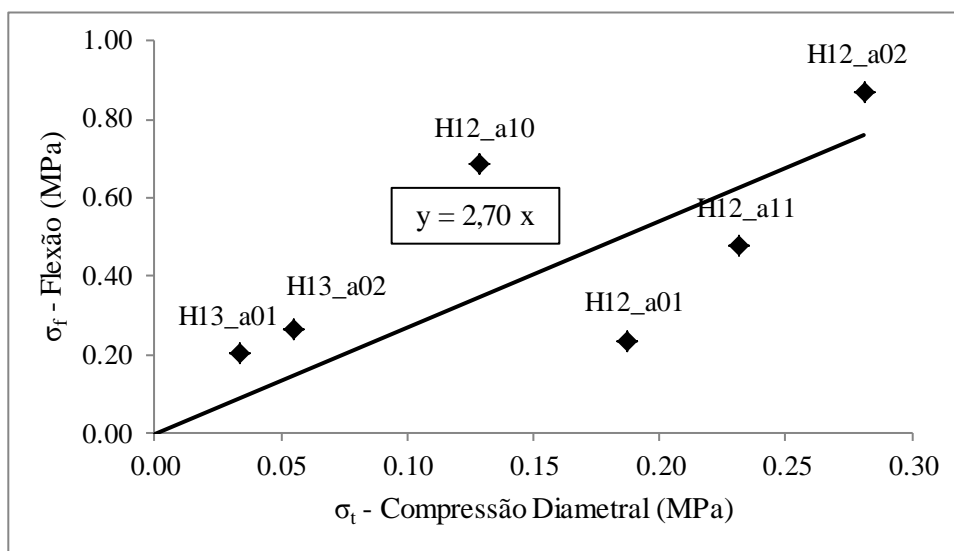


Figura 3.11. Correlação entre as resistências à tracção obtidas por flexão e compressão diametral.

### 3.3. Ensaaios para a Determinação da Resistência à Compressão

#### 3.3.1. Ensaaios de Compressão Simples sobre Provete Cilíndricos

Para os ensaios de compressão simples, tendo em conta todas as normas/recomendações técnicas consultadas (NZS 4298, 1998; NTE E.080, 2000; Walker, 2002; NMAC, 2009), o manual australiano (Walker, 2002) é o único que apresenta a possibilidade de se testar cilindros à compressão simples, não indicando um valor recomendado para a proporção altura/diâmetro dos mesmos.

A partir de blocos de adobe, extraiu-se, por corte rotativo, provetes cilíndricos com diâmetro de 90 mm. Tal como nos provetes ensaiados à compressão diametral, as faces de topo foram cortadas e regularizadas, optando-se por uma proporção altura/diâmetro igual a 2, sempre que possível, e nunca inferior a 1.

Para se medir as deformações verticais dos provetes durante o ensaio foram colocados potenciômetros da marcas Gefran na posição vertical. De seguida, de modo a melhor regularizar as faces de topo dos provetes cilíndricos, na prensa, colocou-se uma argamassa de areia fina em ambas as faces, Figura 3.12.

Este ensaio, Figura 3.12, foi executado a uma velocidade de 1,5 mm/min, respeitando deste modo o intervalo indicado no manual australiano (1 a 5 mm/min), (Walker, 2002).



Figura 3.12. Ensaio de compressão simples em provetes cilíndricos.

A rotura neste ensaio, para todos os provetes, aconteceu com fissuração vertical, Figura 3.13.



Figura 3.13. Rotura do provete cilíndrico sujeito a compressão simples.

Esta rotura deu-se para uma força máxima média de 4,63 kN para o edifício H12, e de 2,86 kN para o edifício H13.

A tensão de rotura é calculada através da Expressão (3) (Walker, 2002).

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (3)$$

onde:

- $\sigma_c$       resistência à compressão, MPa;
- $F_c$       carga de rotura, N;
- $A$         área transversal que resiste à carga, mm<sup>2</sup>.

Obteve-se uma tensão de rotura média de 0,77 MPa para o edifício H12, e de 0,45 MPa para o edifício H13. Verifica-se, deste modo, que a resistência à compressão obtida para o edifício H12 é 1,7 vezes superior à obtida para o edifício H13.

A extensão vertical é dada através da Expressão (4):

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta L}{L_g} \quad (4)$$

Onde:

- $\varepsilon_v$       extensão vertical, mm/mm;
- $\Delta L$       variação de comprimento do sensor, mm;
- $L_g$       comprimento inicial do sensor, mm.

Apresenta-se, na Figura 3.14, as curvas que representam a evolução da tensão em função da extensão vertical para cada provete ensaiado. Foi também determinada uma curva

teórica, expressa através de uma função exponencial que, passando pela origem e pelo ponto de tensão de rotura média e extensão média correspondente à tensão de rotura, constitui uma representação média das curvas obtidas experimentalmente. A expressão desta curva teórica determinada é a seguinte:

$$f_c(\varepsilon) = -0,7013 \times (6,898 \times 10^{-5})^\varepsilon + 0,7013.$$

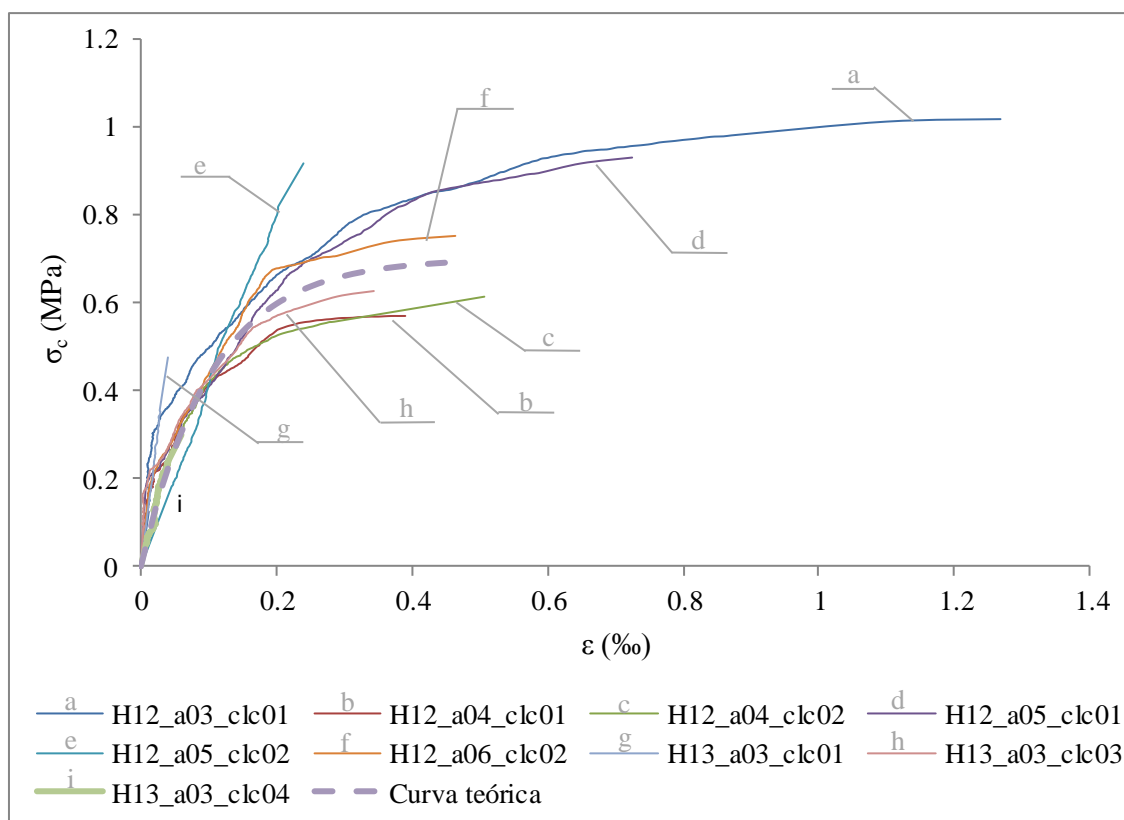


Figura 3.14. Curvas com a evolução da tensão em função da extensão vertical.

Obteve-se, para a tensão de rotura, uma extensão vertical média de 0,60‰ para o edifício H12, e de 0,15‰ para o edifício H13.

Calculou-se, para cada provete, o módulo de elasticidade inicial, que corresponde ao declive da recta tangente à curva tensão *versus* extensão na origem. Obteve-se valores médios de 13249 MPa (H12) e 14838 MPa (H13).

Calculou-se também, para cada provete, o módulo de elasticidade último (secante), que corresponde ao declive da recta secante no ponto de tensão máxima da curva tensão *versus* extensão. Obteve-se valores médios de 1702 MPa (H12) e 6242 MPa (H13).

Os resultados dos ensaios que derivam da medição de deformações nos provetes, nomeadamente o módulo de elasticidade e a extensão última, apresentam uma variabilidade significativa, que se justifica, em parte, pela heterogeneidade do material em análise, mas também pelos erros associados às leituras das deformações em pontos singulares nos provetes de adobe.

### **3.3.2. Ensaios de Compressão Simples sobre Provetes Cúbicos**

O manual australiano (Walker, 2002) apresenta também a possibilidade de se testar blocos, admitindo uma relação altura/largura do provete de 0 a 5. Os provetes cúbicos utilizados apresentam uma relação altura/largura de 1, valor que se encontra entre os limites considerados pelo manual.

A partir de blocos de adobe foi realizado o corte de provetes cúbicos. As dimensões dos provetes foram condicionadas pela altura de cada adobe. Assim, as dimensões médias dos provetes foram de  $0,11 \times 0,11 \times 0,11 \text{ m}^3$  (H12 e H13).

Para a medição das deformações sofridas pelos provetes, resultantes da aplicação da carga, utilizou-se potenciómetros da marca Gefran. Estes foram colocados na posição vertical em duas faces opostas, de modo a medir a deformação vertical e para se poder comparar os resultados das duas faces. Numa das faces verticais também foi colocado um potenciómetro na posição horizontal para medir a deformação horizontal.

De modo a melhor regularizar as faces horizontais dos provetes cúbicos, na prensa, colocou-se uma argamassa de areia fina em ambas as faces, Figura 3.15.

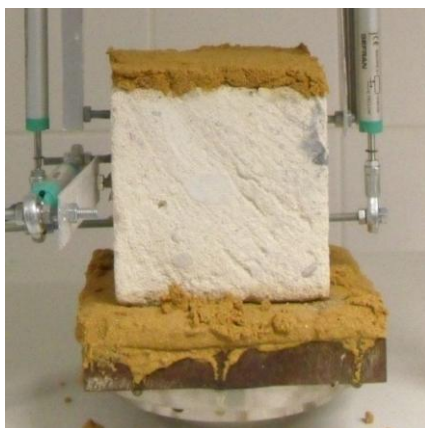


Figura 3.15. Colocação da argamassa de areia fina.

Este ensaio foi executado a uma velocidade de 1,50 mm/min, respeitando deste modo os limites indicados no manual australiano (1 a 5 mm/min) (Walker, 2002).

O modo de rotura obtido corresponde a uma forma de dupla pirâmide invertida, Figura 3.16. A rotura ocorreu para uma força máxima média de 10,71 kN para o edifício H12, e de 5,64 kN para o edifício H13.



Figura 3.16. Rotura do provete cúbico sujeito à compressão simples.

Através da Expressão (3), calculou-se a tensão de rotura. Obteve-se uma tensão de rotura média de 0,89 MPa para o edifício H12 e de 0,48 MPa para o edifício H13. Verifica-se, deste modo, que a resistência à compressão obtida para o edifício H12 é 1,85 vezes superior à obtida para o edifício H13.

A extensão horizontal é dada através da Expressão (5):

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta L}{L_g} \quad (5)$$

Onde:

$\varepsilon_h$  extensão horizontal, mm/mm;

$\Delta L$  variação de comprimento do sensor, mm;

$L_g$  comprimento inicial do sensor, mm.

Apresenta-se, na Figura 3.17, as curvas que representam a evolução da tensão em função da extensão vertical para cada provete ensaiado. Apresenta-se também, para o provete H12\_a04\_cb05, a evolução da tensão em função da extensão horizontal. Este foi o único provete cúbico para o qual foi possível uma adequada medição da deformação horizontal.

Obteve-se, para a tensão de rotura, uma extensão vertical média de 0,94‰ para o edifício H12 e uma extensão horizontal de 0,06‰, sendo este valor correspondente apenas ao provete H12\_a04\_cb05, pelos motivos referidos atrás.

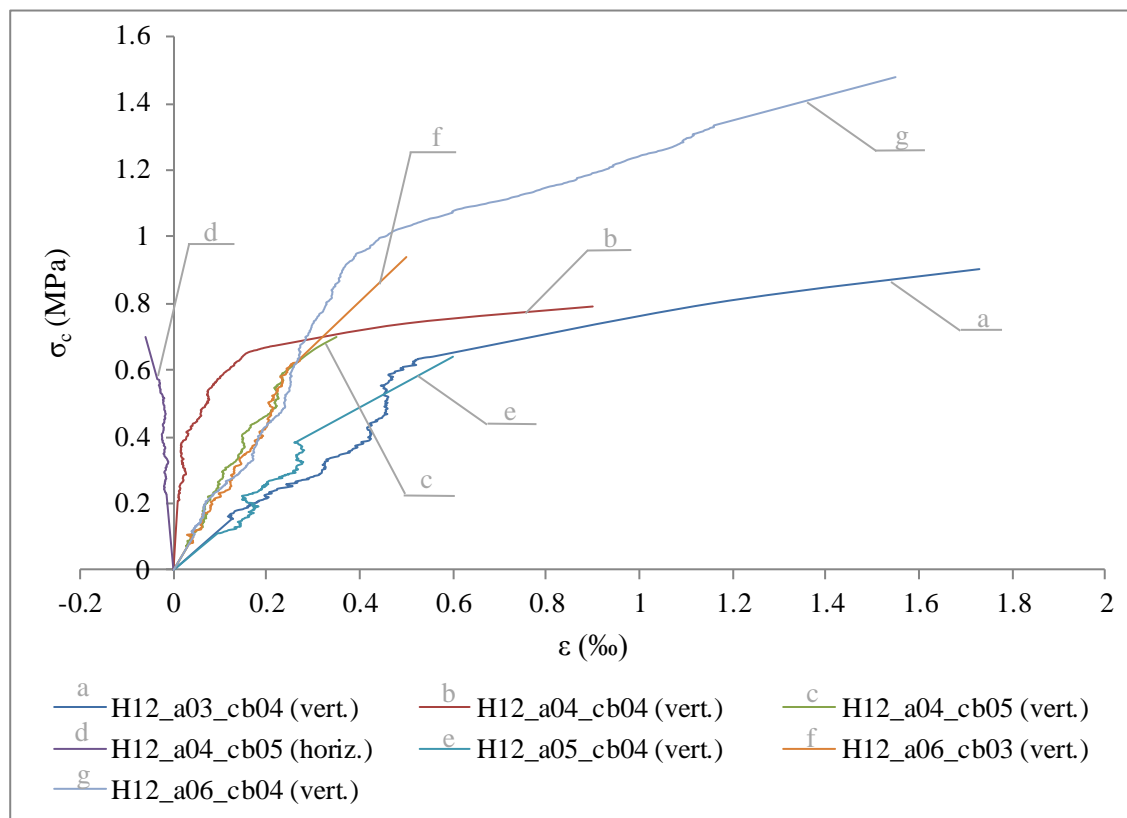


Figura 3.17. Curvas com a evolução da tensão em função da extensão horizontal.

Tal como foi explicado no subcapítulo relativo ao ensaio de compressão simples dos provetes cilíndricos, calculou-se os módulos de elasticidade inicial e último (secante) para cada provete. Para os provetes do edifício H12 obteve-se um valor médio do módulo de elasticidade inicial de 5347 MPa e um valor médio do módulo de elasticidade último (secante) de 1216 MPa. Para os provetes cúbicos do edifício H13 não se traçou a curva tensão *versus* extensão e, conseqüentemente, não se realizou o cálculo dos módulos de elasticidade, uma vez que as medições dos sensores de deslocamento verticais foram afectadas de erro, não tendo sido possível utilizá-las.

Os resultados dependentes da medição das deformações sofridas pelos provetes (módulo de elasticidade e extensão última) apresentam, uma vez mais, grande variabilidade que pode ser justificada, em parte, pela heterogeneidade do material em



análise, mas também pelos erros associados às leituras das deformações em pontos singulares nos provetes de adobe.

Para o provete H12\_a04\_cb05 calculou-se o coeficiente de Poisson médio, considerando as medições das deformações vertical e horizontal até 75% da carga de rotura. O coeficiente de Poisson é dado pela seguinte expressão:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v} \quad (6)$$

onde:

$\nu$             coeficiente de Poisson;

$\varepsilon_h$         extensão horizontal;

$\varepsilon_v$         extensão vertical.

Assim, obteve-se um coeficiente de Poisson médio de 0,15.

### **3.3.3. Comparação de Resultados**

De cada adobe foram sempre extraídos provetes cilíndricos e cúbicos, para ser possível a comparação dos resultados obtidos no ensaio de compressão simples dos dois tipos de provete.

Foi traçado um gráfico onde se representou a resistência à compressão resultante do ensaio de provetes cúbicos em função da resistência à compressão resultante do ensaio de provetes cilíndricos, com o objectivo de se estudar a sua correlação. Foi então traçada uma recta, passando pela origem, resultante da regressão linear dos resultados obtidos recorrendo ao método dos mínimos quadrados, Figura 3.18.

Assim, de acordo com a correlação obtida, a resistência à compressão dos provetes cúbicos é cerca de 1,05 vezes maior que a resistência à compressão dos provetes cilíndricos.

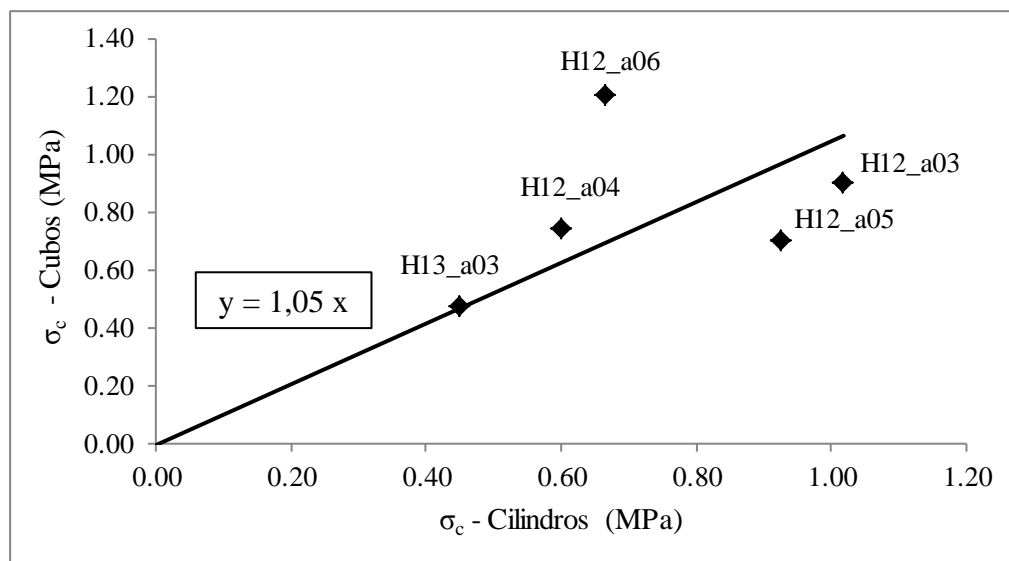


Figura 3.18. Correlação entre as resistências à compressão obtidas em cubos e em cilindros.

### 3.4. Comparação entre as Resistências à Tracção e à Compressão

Calculou-se a relação entre a resistência à tracção e a resistência à compressão, considerando, separadamente, a resistência à tracção obtida por flexão e por compressão diametral. Para a determinação desta relação calculou-se as resistências à compressão média globais (considerando cubos e cilindros), sendo os valores de resistência dos cilindros multiplicados pelo factor 1,05, valor este obtido por regressão linear no subcapítulo anterior. Na Tabela 3.1 são apresentadas as relações obtidas expressas em percentagem.

Tabela 3.1. Relação da Resistência à Tracção / Resistência à Compressão.

Relação Resistência à Tracção / Resistência à Compressão		
Resistência à Tracção obtida por:	Edifício	
	H12	H13
Flexão	78%	49%
Compressão Diametral	24%	9%

Assim, concluiu-se que para os adobes do edifício H12, a resistência à tracção obtida por flexão corresponde a 78% da resistência à compressão, enquanto a resistência à tracção obtida por compressão diametral corresponde a 24% da resistência à compressão.

Por sua vez, para os adobes do edifício H13, a resistência à tracção obtida por flexão corresponde a 49% da resistência à compressão, enquanto a resistência à tracção obtida por compressão diametral corresponde a 9% da resistência à compressão.



## **Capítulo 4**

### **ENSAIOS DE COMPRESSÃO EM PAREDES DE ADOBE**

---



## **4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL EM PAREDES DE ADOBE**

A ausência de conhecimento sobre as propriedades e características do comportamento mecânico da alvenaria de adobe resulta em dificuldades no processo de reabilitação das construções. Para se contribuir para a caracterização do comportamento em corte da alvenaria de adobe característica do distrito de Aveiro, construíram-se 5 paredes à escala real, com dimensões de 1,26 x 1,26 x 0,35 m<sup>3</sup>. Estas paredes foram ensaiadas à compressão diagonal às juntas de assentamento, de acordo com as recomendações da norma ASTM (E519-81, 1997). Este trabalho integra-se num trabalho de investigação levado a cabo por investigadores da Universidade de Aveiro que tem como objectivo a caracterização do comportamento da alvenaria de adobe tradicionalmente usada no distrito de Aveiro (Varum *et al.*, 2007; Varum *et al.*, 2011a; Varum *et al.*, 2011b; Silveira, em desenvolvimento).

### **4.1. Construção das Paredes**

Para a execução das paredes, recolheram-se blocos de adobe de uma construção existente no concelho da Murtosa, no distrito de Aveiro, dando-se preferência aos blocos que se encontravam em melhor estado de conservação, e evitando-se aqueles que apresentavam danos significativos. O comportamento mecânico dos blocos de adobe retirados desta construção foi analisado no capítulo anterior (edifício H13). Estes blocos apresentavam uma cor bege, dimensões médias de 0,47 x 0,33 x 0,12 m<sup>3</sup>, peso volúmico de 14,77 kN/m<sup>3</sup>, resistência à flexão de 0,23 MPa, resistência à compressão diametral de 0,04 MPa, resistência à compressão sobre provetes cilíndricos de 0,45 MPa e resistência à compressão sobre provetes cúbicos de 0,48 MPa.

Utilizou-se também, na construção das paredes, uma argamassa formulada em laboratório, com composição semelhante à usada tradicionalmente. Esta argamassa foi fabricada com um traço (em volume aparente) de 1:3 (cal aérea: solo). A composição e características mecânicas desta argamassa são analisadas no subcapítulo 4.2.

Apesar da norma ASTM (E519-81, 1997) indicar dimensões de  $1,2 \times 1,2 \text{ m}^2$  para as paredes a ensaiar, optou-se por uma largura de dois adobes e meio, de modo a simplificar o processo de construção, obtendo-se assim paredes com dimensões de  $1,26 \times 1,26 \text{ m}^2$ . A largura das paredes corresponde à largura de um adobe mais a espessura do reboco ( $\approx 0,35 \text{ m}$ ).

Na construção das paredes, Figura 4.1, recorreu-se a pessoal com experiência neste tipo de trabalho, de modo a conseguir-se uma execução cuidada e próxima da realidade.

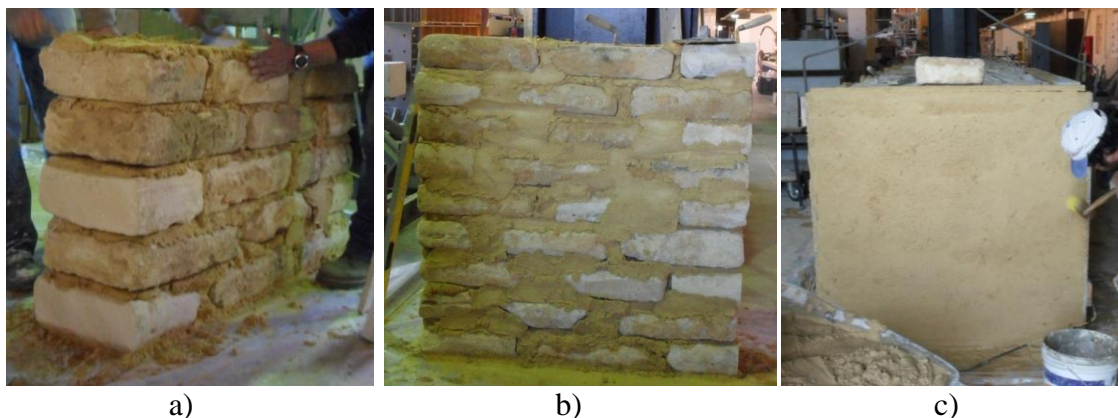


Figura 4.1. a) Construção de parede; b) Parede sem reboco; c) Parede com reboco.

## 4.2. Caracterização das Argamassas de Assentamento e Reboco

### 4.2.1. Análise Granulométrica

No fabrico da argamassa de assentamento e de reboco usada na construção das paredes, utilizou-se cal aérea (hidratada) e dois solos com granulometrias diferentes (misturados em doses iguais): solo 1, com granulometria mais grossa, Figura 4.2 a), e solo 2, com granulometria mais fina, Figura 4.2 b).



Figura 4.2. Solos utilizados na produção da argamassa de assentamento e reboco.



Analizou-se, individualmente, a composição granulométrica dos dois tipos de solo, Figuras 4.3 e 4.4. Esta análise foi realizada de acordo com a especificação portuguesa do LNEC (E 196, 1966).

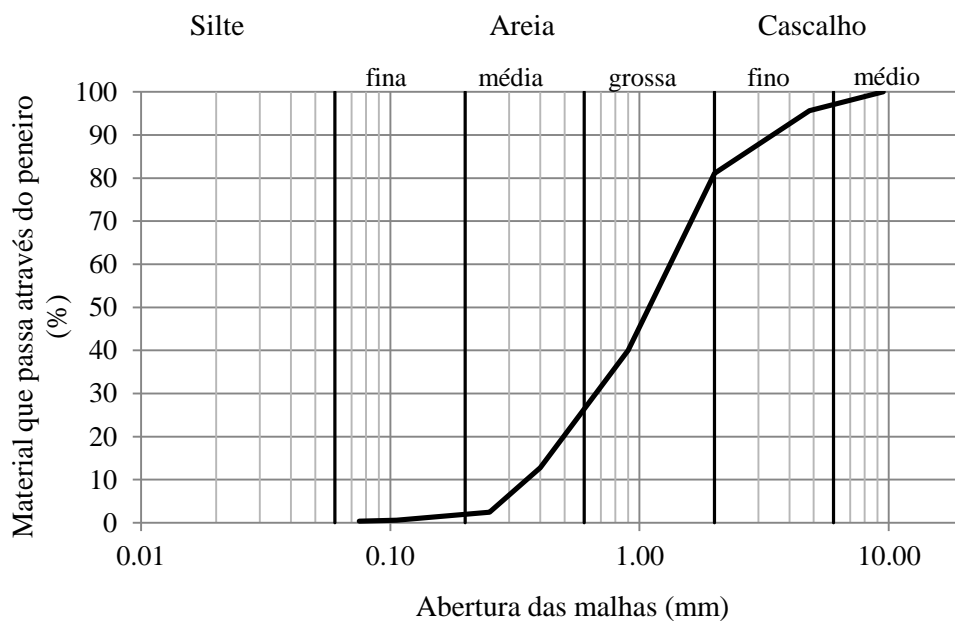


Figura 4.3. Curva granulométrica do solo 1.

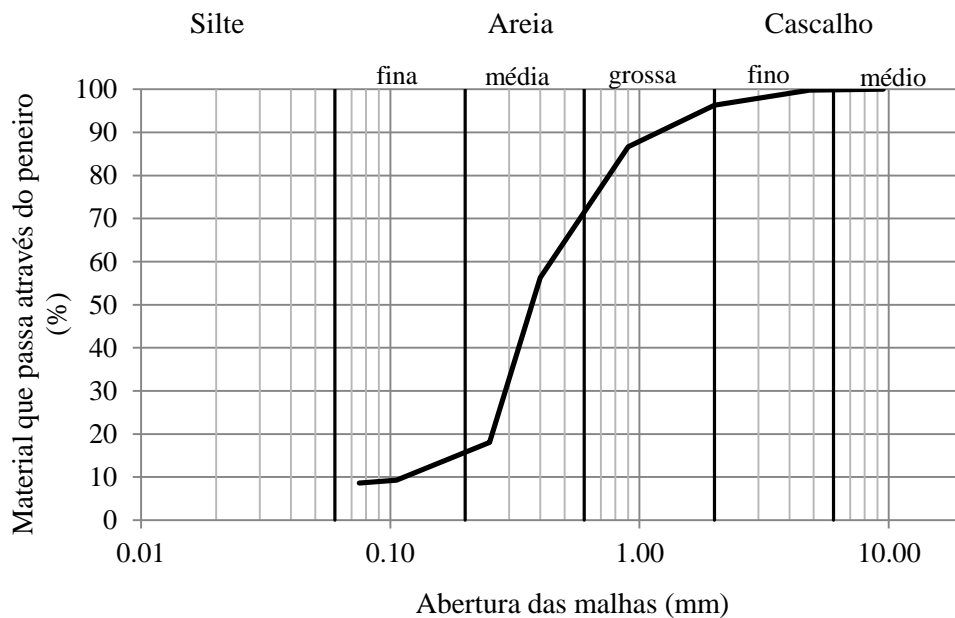


Figura 4.4. Curva granulométrica do solo 2.

Com base nas curvas granulométricas obtidas para os dois tipos de solo, determinou-se a curva granulométrica da mistura utilizada na argamassa de assentamento e de reboco, Figura 4.5. De acordo com esta curva, a mistura utilizada foi classificada como uma areia com algum cascalho (11,3%) e uma pequena percentagem (4,5%) de material fino (siltes e/ou argilas).

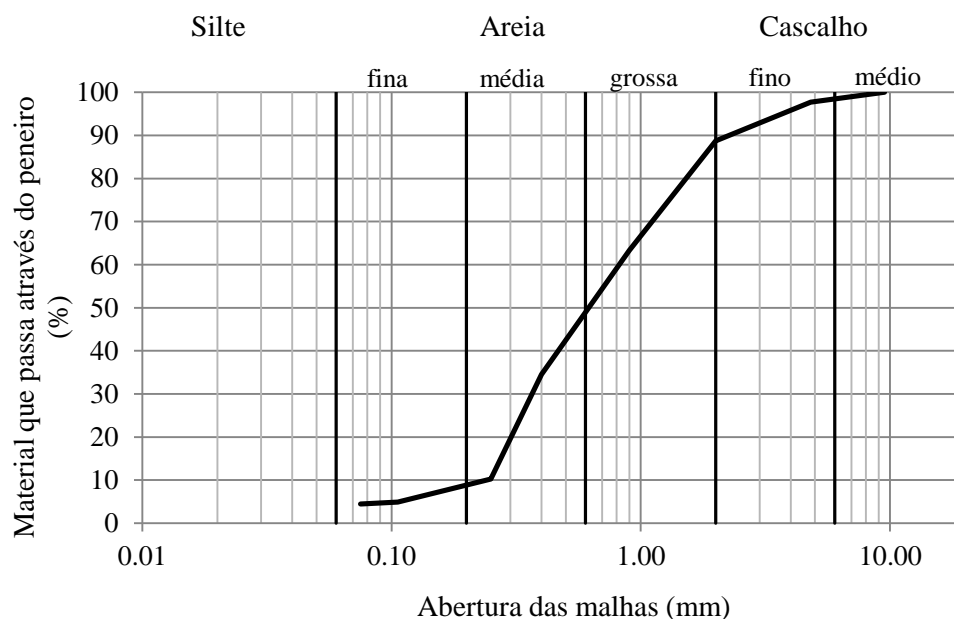


Figura 4.5. Curva granulométrica da mistura de solos utilizada no fabrico da argamassa.

#### 4.2.2. Caracterização Mecânica

De modo a avaliar a resistência mecânica à flexão e à compressão da argamassa de assentamento e de reboco usada na construção das paredes, procedeu-se à realização de provetes prismáticos em simultâneo com a construção das paredes, Figura 4.6. Para cada tipo de argamassa (assentamento e reboco) realizou-se duas recolhas durante o processo de construção. Os provetes fabricados foram armazenados em condições de humidade semelhantes às de armazenamento das paredes, e foram ensaiados na mesma altura em que se procedeu ao ensaio das paredes.



Figura 4.6. Provetes prismáticos de argamassa.

No ensaio de resistência mecânica à flexão, Figura 4.7, obteve-se os resultados que se apresentam na Tabela 4.1.



Figura 4.7. Ensaio à flexão de provete de argamassa.

Tabela 4.1. Resultados obtidos no ensaio à flexão dos provetes de argamassa.

Argamassa		Ensaios de Flexão		
		Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Reboco	1ª recolha	0,30	0,02	5,30
	2ª recolha	0,20	0,03	14,30
	1ª e 2ª recolha	0,25	0,06	22,80
Assentamento	1ª recolha	0,29	0,02	6,90
	2ª recolha	0,23	0,04	15,80
	1ª e 2ª recolha	0,26	0,04	16,30
Reboco e Assentamento		0,26	0,05	19,20

Assim, tendo em consideração todas as recolhas de argamassa de assentamento e de reboco, obteve-se uma resistência média à flexão para as amostras ensaiadas de 0,26 MPa, Tabela 4.1.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, Figura 4.8, usaram-se as duas metades de cada provete resultantes do ensaio à flexão. Em consequência, obteve-se os valores que se apresentam na Tabela 4.2.



Figura 4.8. Ensaio à compressão de metade de provete de argamassa.

Tabela 4.2. Resultados obtidos no ensaio à compressão de provetes de argamassa.

Argamassa		Ensaio de Compressão		
		Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Reboco	1ª recolha	0,54	0,04	7,50
	2ª recolha	0,33	0,03	7,90
	1ª e 2ª recolha	0,44	0,11	25,90
Assentamento	1ª recolha	0,59	0,04	7,10
	2ª recolha	0,41	0,04	9,30
	1ª e 2ª recolha	0,50	0,10	20,10
Reboco e Assentamento		0,47	0,11	23,60

Assim, tendo em consideração todas as recolhas de argamassa de assentamento e de reboco, obteve-se uma resistência média à compressão para as amostras de 0,47 MPa, Tabela 4.2.

### 4.3. Instrumentação e Procedimentos de Ensaio

As paredes foram ensaiadas à compressão diagonal, aproximadamente 60 dias após a sua construção. Para a rotação, transporte e apoio destas paredes criou-se um sistema com elementos metálicos, apresentado na Figura 4.9. A norma americana ASTM (E519-81, 1997) recomenda que, para paredes com 1,2 m de lado, o comprimento da chapa metálica através da qual o carregamento é transmitido à parede seja de 152 mm. Para outras dimensões de parede, recomenda que este comprimento seja, no máximo,  $1/8$  do lado da parede. Sendo assim, e tendo em conta as dimensões das paredes construídas para este estudo ( $1,26 \times 1,26 \text{ m}^2$ ), considerou-se uma chapa com um comprimento de 0,15 m.

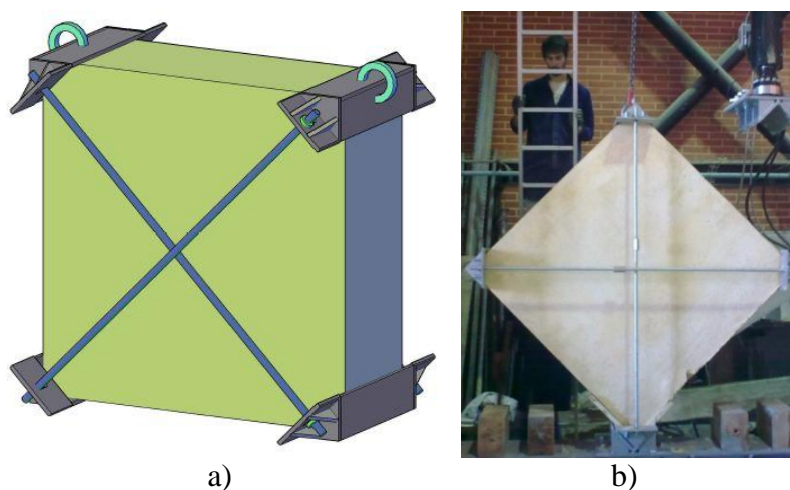


Figura 4.9. Sistema de rotação, transporte e apoio das paredes.

De modo a apoiar a parede no pórtico na posição necessária para este ensaio, e também de modo a permitir a aplicação da carga do actuador sobre a parede, dimensionou-se uma peça metálica, Figuras 4.10 a) e 4.10 b), de acordo com a norma ASTM (E519-81, 1997).

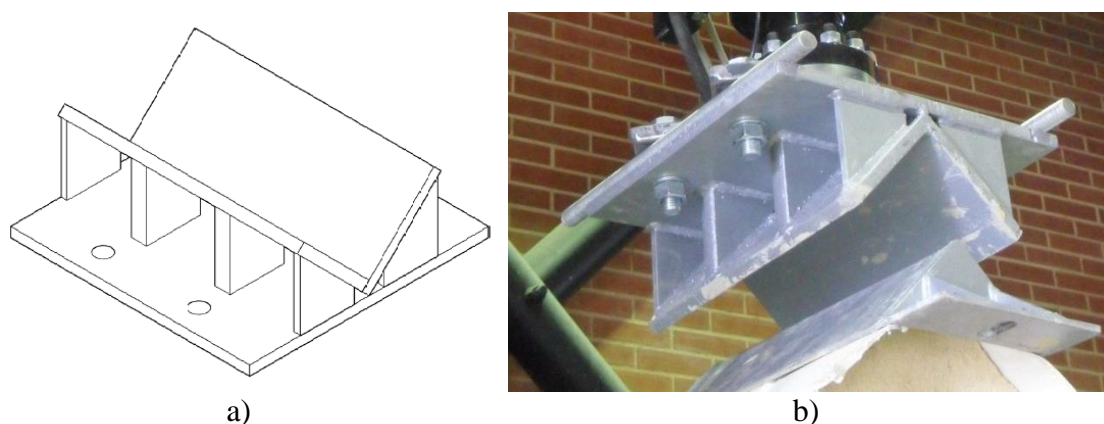


Figura 4.10. Peças metálicas: a) para apoiar a parede no pórtico; b) para a aplicação da carga do actuador sobre a parede.

Com o sistema desenvolvido já montado, realizou-se a rotação e transporte de cada parede, recorrendo-se à ponte rolante existente no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e inseriu-se cada parede no pórtico existente no mesmo laboratório, Figura 4.11.

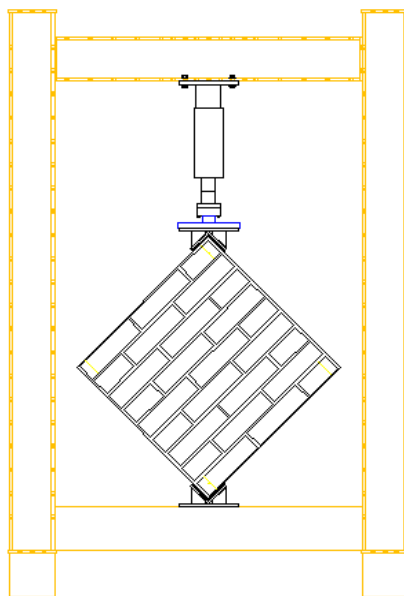


Figura 4.11. Esquema do ensaio de compressão diagonal.

Para a análise dos deslocamentos verificados durante o ensaio, colocou-se 4 potenciómetros de deslocamento da marca Gefran (curso de 50 mm e precisão de centésima de milímetro) em cada face das paredes: 2 na direcção vertical e 2 na horizontal. Em cada uma destas direcções, colocou-se um sensor longo e um curto, Figura 4.12.

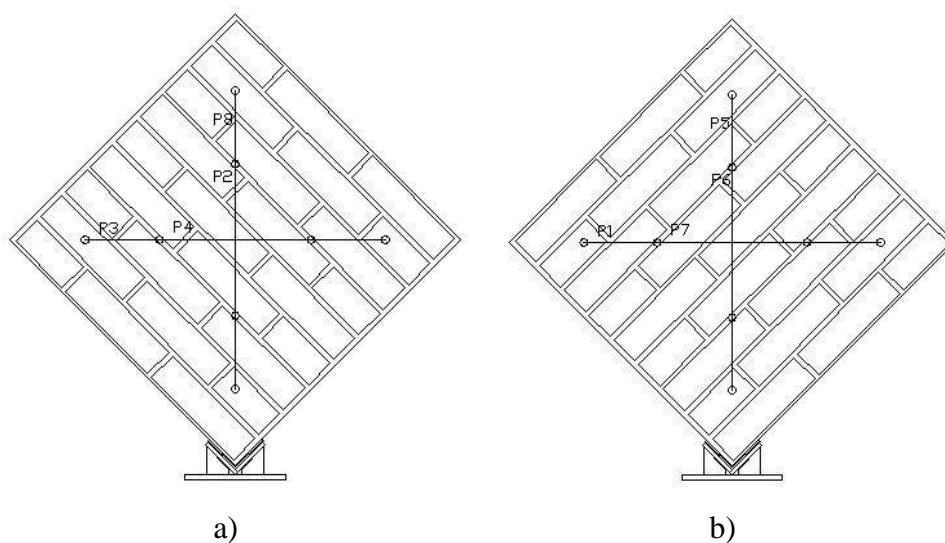


Figura 4.12. Posicionamento dos sensores de deslocamento nas duas faces de cada parede  
a) Face A; b) Face B.

Por último, as paredes foram ensaiadas à compressão diagonal, tendo a carga de ensaio sido aplicada através de um actuador com capacidade máxima de 300 kN, Figura 4.13.



Figura 4.13. Actuador utilizado no ensaio.

A velocidade de ensaio foi ajustada de modo a cumprir-se o indicado na norma ASTM (E519-81, 1997). Esta menciona que a força deve ser aplicada de forma contínua até à rotura e que até metade da força máxima prevista, a carga pode ser aplicada a qualquer velocidade conveniente. Depois de se atingir metade da força máxima prevista, a carga restante deve ser aplicada a uma velocidade constante de maneira a que a força máxima seja atingida entre 1 e 2 minutos. Tendo em conta que este ensaio foi realizado com controlo em deslocamento e não em força, seleccionou-se uma velocidade que permitisse que, depois de se atingir metade da força máxima prevista, a força máxima fosse atingida respeitando os limites referidos atrás. Assim, para o ensaio da primeira parede considerou-se uma velocidade de 0,05 mm/s, que foi ajustada para 0,025 mm/s nos restantes ensaios.

De seguida expõem-se algumas dificuldades verificadas no decorrer dos ensaios realizados, bem como as estratégias utilizadas para as ultrapassar:

- A colocação das paredes no pórtico na posição perfeitamente diagonal criou alguns problemas, só ultrapassados com a colocação de uma massa fina de areia e cal na estrutura de apoio, conseguindo-se assim ajustar a parede até esta ficar na posição pretendida;
- O nivelamento/alinhamento das paredes no pórtico foi uma dificuldade constante na preparação deste ensaio. Para ultrapassar este problema, com a parede já colocada no pórtico, recorreu-se a um prumo, apoiado horizontalmente na face da parede, e aberto até a parede estar perfeitamente nivelada.

#### 4.4. Apresentação e Análise de Resultados

A realização de cada ensaio foi acompanhada do registo dos valores de força actuante e dos valores de deslocamento medidos em cada sensor utilizado.

Com base nestes valores, e através da Expressão (7), indicada na norma ASTM (E519-81, 1997), calculou-se a tensão de corte.

$$S_s = \frac{0.707P}{A_n} \quad (7)$$

onde:

$S_s$  tensão de corte, MPa;

$P$  carga aplicada, N;

$A_n$  área real, mm<sup>2</sup>, dada pela Expressão (8):

$$A_n = \frac{(W + h)}{2} \cdot t \cdot n \quad (8)$$

onde:

$W$  largura da parede, mm;

$h$  altura da parede, mm;

$t$  espessura da parede, mm;

$n$  percentagem da área bruta da parede que é sólida.

Aplicando-se a Expressão (9), indicada na norma ASTM (E519-81, 1997), calculou-se a deformação de corte.

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{L_g} \quad (9)$$

onde:

$\gamma$  deformação de corte, mm/mm;

$\Delta V$  deformação vertical, mm;

$\Delta H$  deformação horizontal, mm;

$L_g$  comprimento inicial dos sensores, mm.



Por último, para o cálculo do módulo de rigidez, ou seja, do módulo de elasticidade em corte, aplicou-se a Expressão (10), dada na norma ASTM (E519-81, 1997).

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \quad (10)$$

onde:

$G$       módulo de rigidez, MPa.

De modo a representar os danos verificados neste ensaio, nos subcapítulos seguintes são apresentadas figuras que esquematizam os danos em cada parede. Apenas é representada a face A de cada parede, uma vez que o dano foi semelhante em ambas as faces.

Para a representação gráfica dos resultados, considerou-se com sinal negativo os valores de deformações medidos pelos sensores horizontais, apesar de corresponderem a valores de alongamento, e considerou-se com sinal positivo os valores de deformação medidos pelos sensores verticais, apesar de corresponderem a valores de encurtamento. Optou-se também por apresentar a média dos valores de extensão medidos pelos sensores correspondentes (com o mesmo comprimento e direcção de medição) nas faces A e B.

#### 4.4.1. Parede 1

No ensaio da Parede 1, observou-se uma rotura com fissuração aproximadamente vertical, Figura 4.14.

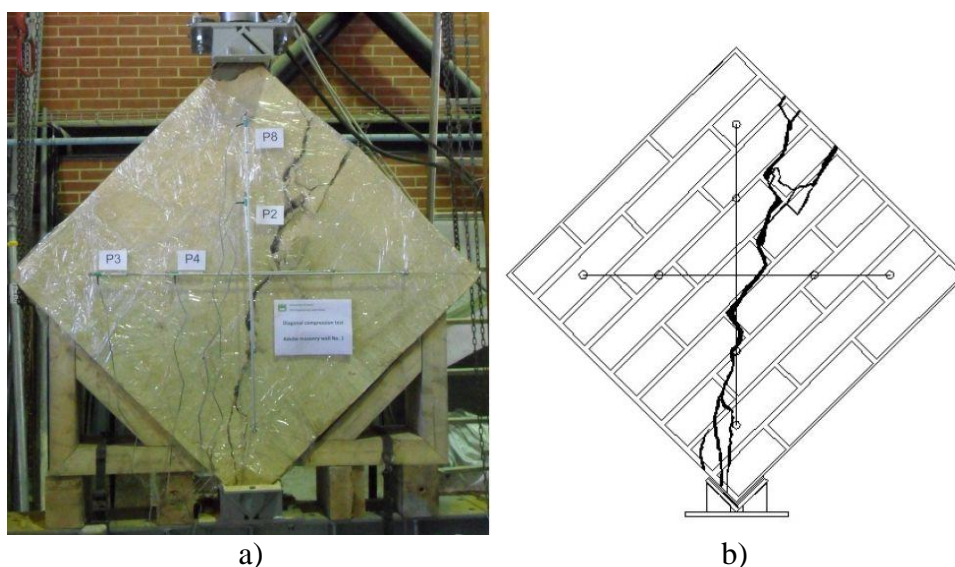


Figura 4.14. Dano verificado na Parede 1 (Face A).

Na Figura 4.15 representa-se o gráfico tensão de corte *versus* extensão, resultante do ensaio desta parede. Com base neste gráfico, concluiu-se que a tensão de rotura de corte obtida no ensaio foi de 23 kPa, para uma extensão de 0,21‰ e 0,31‰ para os sensores verticais longos e curtos, respectivamente, e de 0,19‰ e 0,72‰ para os sensores horizontais longos e curtos, respectivamente. Este gráfico é representado até ao valor da tensão última convencional, correspondente a um decréscimo de 20% da tensão de rotura de corte, sendo este valor de 18 kPa.

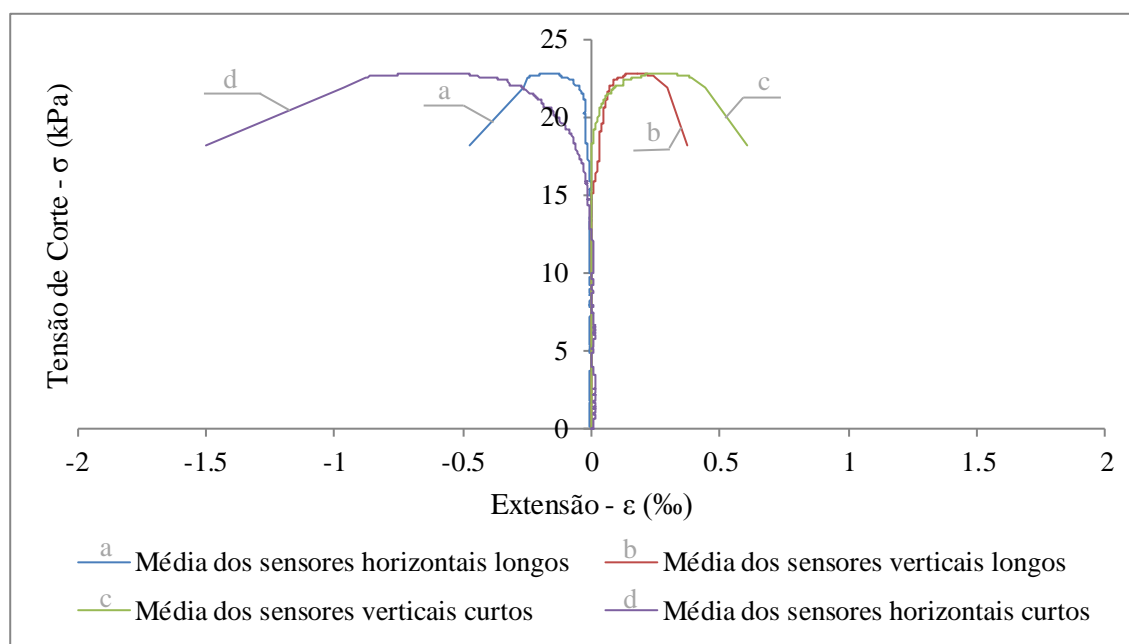


Figura 4.15. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 1.

#### 4.4.2. Parede 2

A fissuração verificada no ensaio de compressão diagonal sobre a Parede 2 apresentou orientação aproximadamente vertical, Figura 4.16. Nesta parede ocorreu um destacamento inicial ao longo da fiada inferior de adobes. Este destacamento aconteceu durante o transporte e nivelamento da parede no pórtico. Pelo facto deste dano não ser resultante do ensaio, não se fez a sua representação no esquema apresentado, Figura 4.16 b).

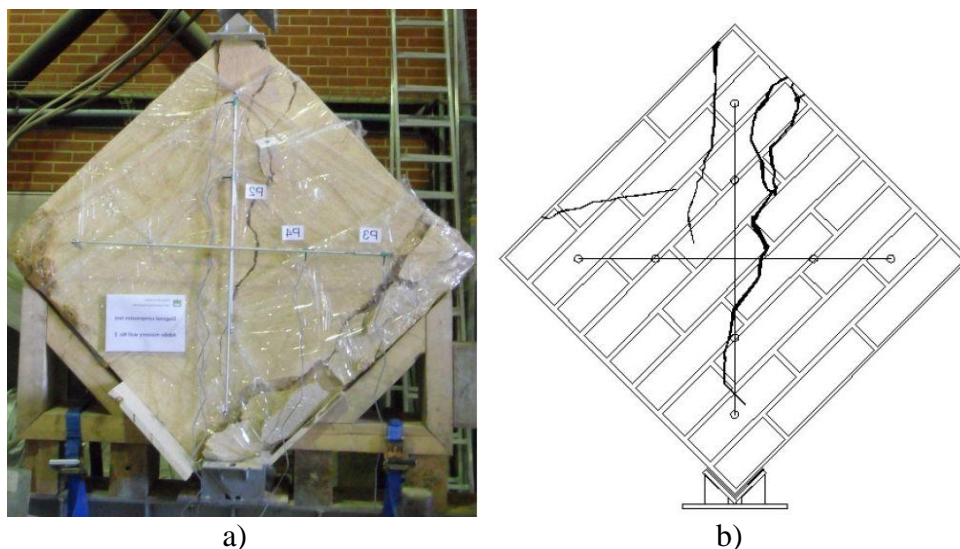


Figura 4.16. Dano verificado na Parede 2 (Face A).

Na Figura 4.17 representa-se o gráfico tensão de corte *versus* extensão, resultante do ensaio desta parede. A partir deste gráfico, concluiu-se que a tensão de rotura de corte obtida neste ensaio foi de 27 kPa, para uma extensão de 0,34‰ e 0,39‰ para os sensores verticais longos e curtos, respectivamente, e 0,38‰ e 0,66‰ para os sensores horizontais longos e curtos, respectivamente. O gráfico é representado até ao valor da tensão última convencional, correspondente a um decréscimo de 20% da tensão de rotura de corte, sendo este valor de 22 kPa.

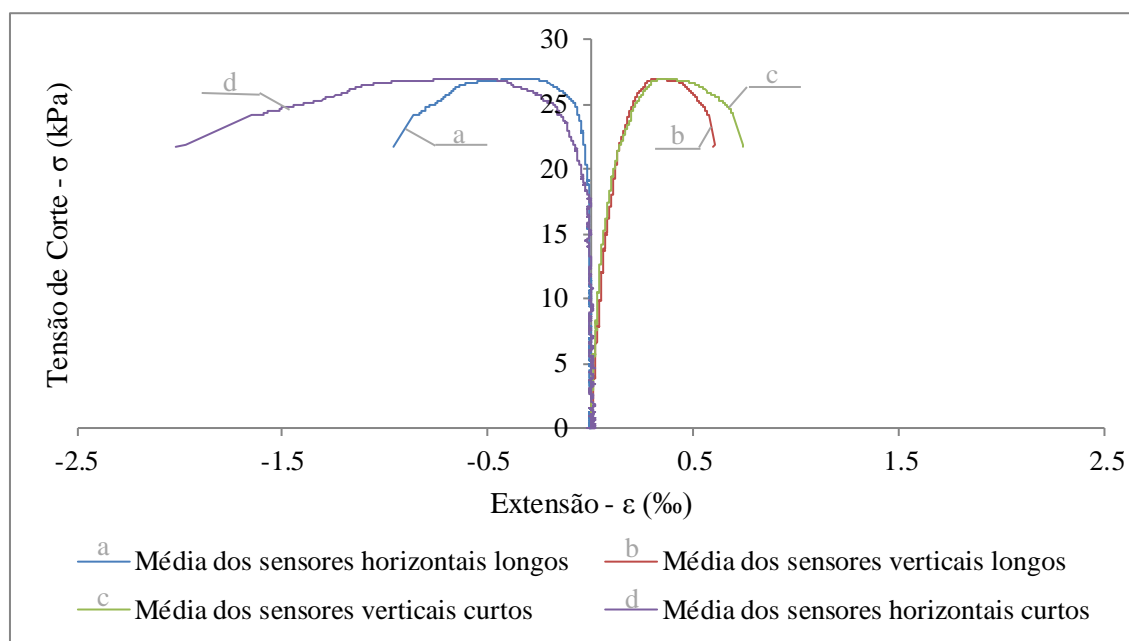


Figura 4.17. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 2.

### 4.4.3. Parede 3

No ensaio de compressão diagonal realizado sobre a Parede 3 verificou-se uma fissuração aproximadamente vertical, Figura 4.18. Nesta parede, antes da realização do ensaio, ocorreram outros danos, causados pelo peso próprio das fiadas de adobe, e que não foram por isso representados no esquema apresentado, Figura 4.18 b).

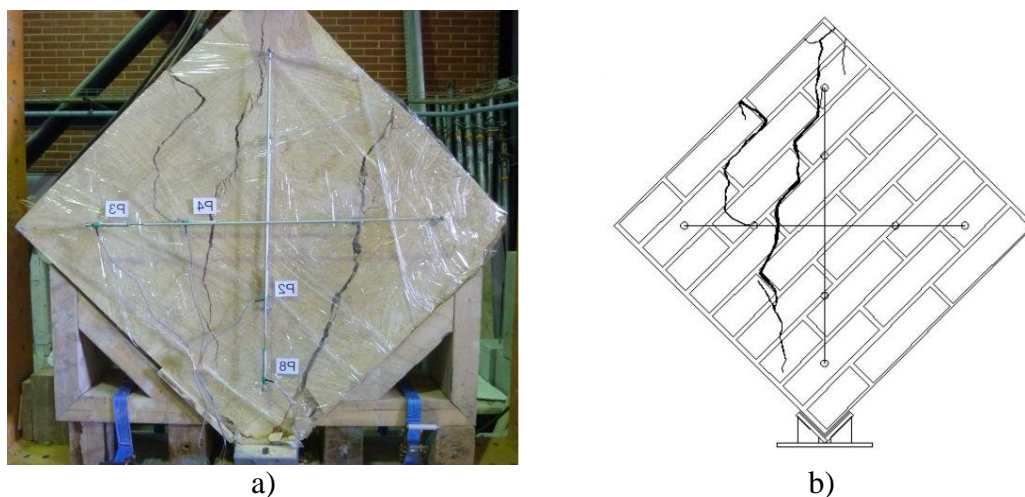


Figura 4.18. Dano verificado na Parede 3 (Face A).

Considerando que o dano ocorrido antes do ensaio afectou os valores medidos pelos sensores horizontais longos, não se considerou estes valores.

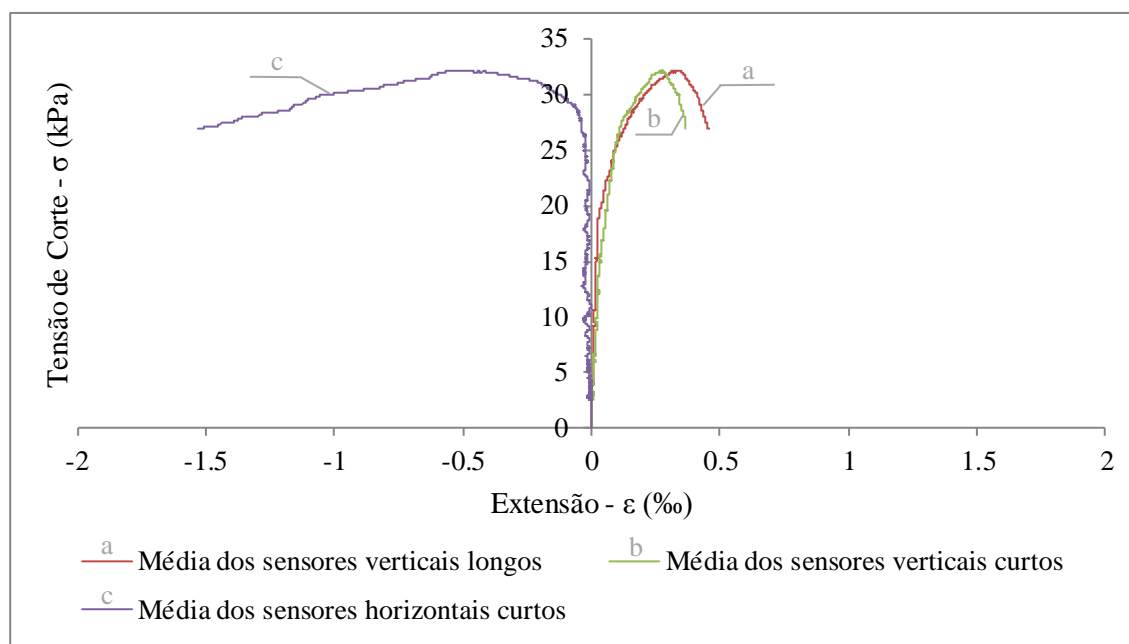


Figura 4.19. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 3.

Assim, a partir do gráfico apresentado na Figura 4.19, concluiu-se que a tensão de rotura de corte obtida neste ensaio foi de 32 kPa, para uma extensão de 0,33‰ e 0,27‰ para os sensores verticais longos e curtos, respectivamente, e de 0,47‰ para os sensores horizontais curtos. O gráfico é representado até ao valor da tensão última convencional, sendo esta de 26 kPa.

#### 4.4.4. Parede 4

A fissuração que ocorreu durante o ensaio da Parede 4 apresentou orientação aproximadamente vertical, Figura 4.20. Nesta parede ocorreu também um destacamento inicial num dos cantos da fiada de adobes inferior, durante o processo de transporte e nivelamento da parede no pórtico. Uma vez que este dano não resulta do ensaio, não se fez a sua representação no esquema apresentado, Figura 4.20 b).

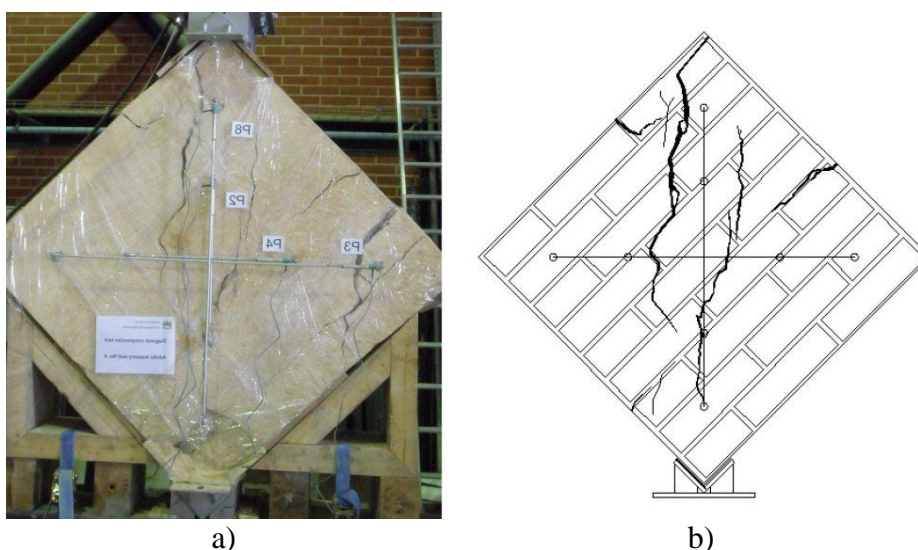


Figura 4.20. Dano verificado na Parede 4 (Face A).

Uma vez que o dano ocorrido antes do ensaio afectou os valores medidos pelos sensores horizontais longos, não se considerou estes valores. Com base no gráfico representado na Figura 4.21 concluiu-se que a tensão de rotura de corte obtida neste ensaio foi de 25 kPa, para uma extensão de 0,15‰ e 0,20‰ para os sensores verticais longos e curtos, respectivamente, e de 0,60‰ para os sensores horizontais curtos. O gráfico é representado até ao valor da tensão última convencional, sendo esta de 22 kPa.



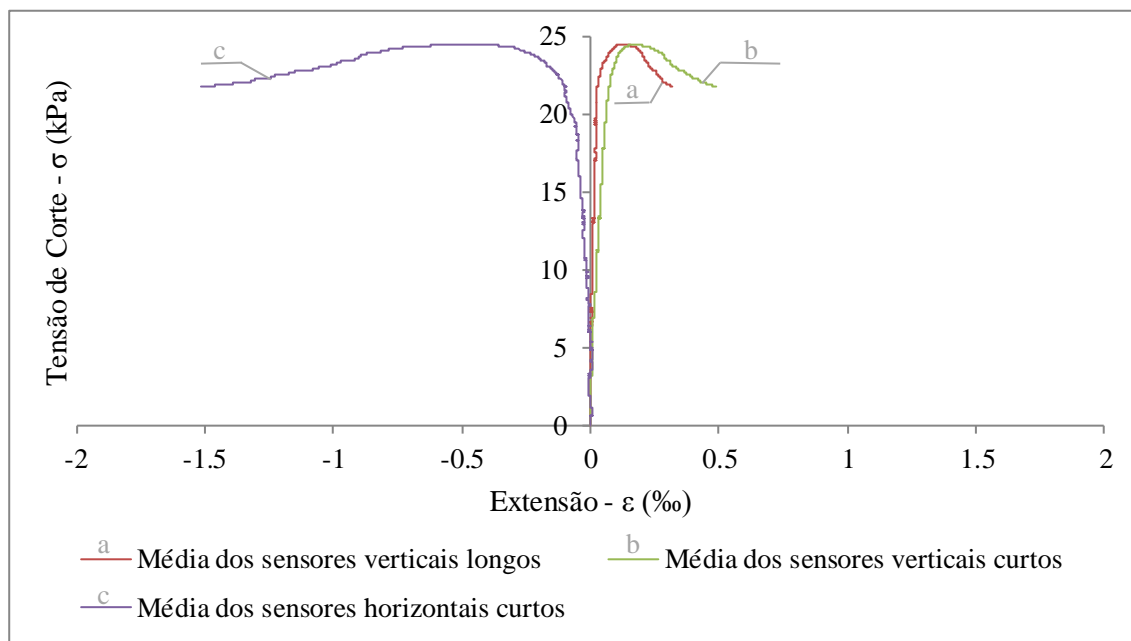


Figura 4.21. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 4.

#### 4.4.5. Parede 5

Na Parede 5, durante o ensaio, começou por ocorrer o destacamento das fiadas de adobe inferiores, e de seguida a fissuração desenvolveu-se com orientação aproximadamente vertical na zona central da parede, Figura 4.22.

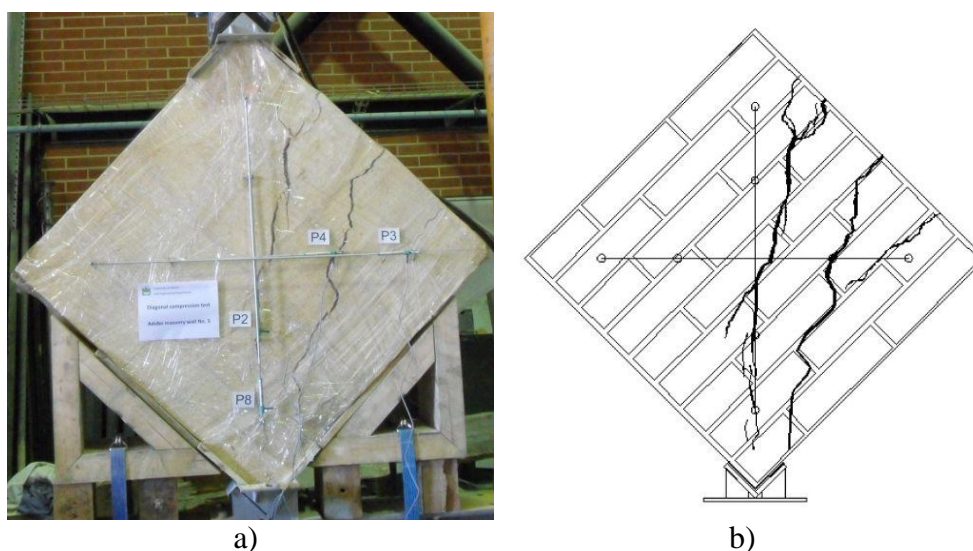


Figura 4.22. Dano verificado na Parede 5 (Face A).

Com base no gráfico representado na Figura 4.23 concluiu-se que a tensão de rotura em corte obtida neste ensaio foi de 22 kPa, para uma extensão de 0,22‰ e 0,18‰ para os sensores verticais longos e curtos, respectivamente, e de 0,13‰ e 0,28‰ para os sensores horizontais longos e curtos, respectivamente. O gráfico é representado até ao valor da tensão última convencional, sendo esta de 18 kPa.

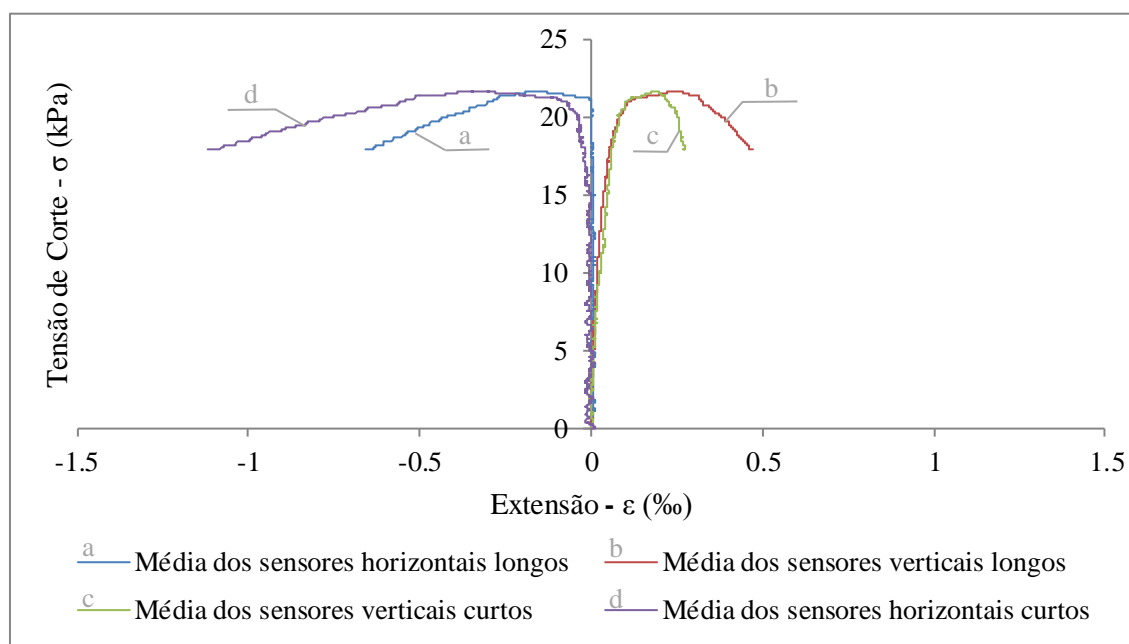


Figura 4.23. Curvas tensão vs. extensão obtidas no ensaio da Parede 5.

#### 4.4.6. Resultados globais

O dano teórico provocado pela compressão diagonal em paredes de alvenaria é composto por fissuração vertical na zona central da parede. Uma vez que nos ensaios realizados existia alguma excentricidade da carga e uma ligeira assimetria da parede, a fissuração ocorrida em todas as paredes foi sempre um pouco inclinada, desviando-se ligeiramente da zona central da parede.

A partir das Expressões (7), (8), (9) e (10), calculou-se os valores da tensão de rotura de corte, deformação de corte e módulo de rigidez, para cada parede, tendo em conta apenas os deslocamentos medidos pelos sensores curtos, uma vez que, como foi já referido, em alguns ensaios não foi possível considerar as medições dos sensores longos, Tabela 4.3. Assim, conclui-se que no ensaio das 5 paredes se obtiveram valores de tensão de rotura em

corte entre 22 kPa e 32 kPa, com um valor médio de 26 kPa, e o módulo de rigidez variou entre 29 MPa e 47 MPa, com um valor médio de 40 MPa, Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Valores da Tensão de Rotura de Corte, Deformação de Corte e Módulo de Rigidez, para cada parede.

	Parede					Valores Médios	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
	1	2	3	4	5			
Tensão de Corte [kPa]	23	27	32	25	22	26	4,16	16
Deformação de Corte [‰]	0,63	0,94	0,74	0,57	0,47	0,67	0,18	27
Módulo de Rigidez [MPa]	36	29	44	43	47	40	7	18

De seguida, na Figura 4.24, apresenta-se o gráfico tensão de corte *versus* extensão com as curvas resultantes do ensaio de todas as 5 paredes, representadas até aos valores de tensão de rotura. Para cada parede, apresenta-se os valores de extensão correspondentes a média das leituras dos 4 sensores verticais e dos 4 sensores horizontais.

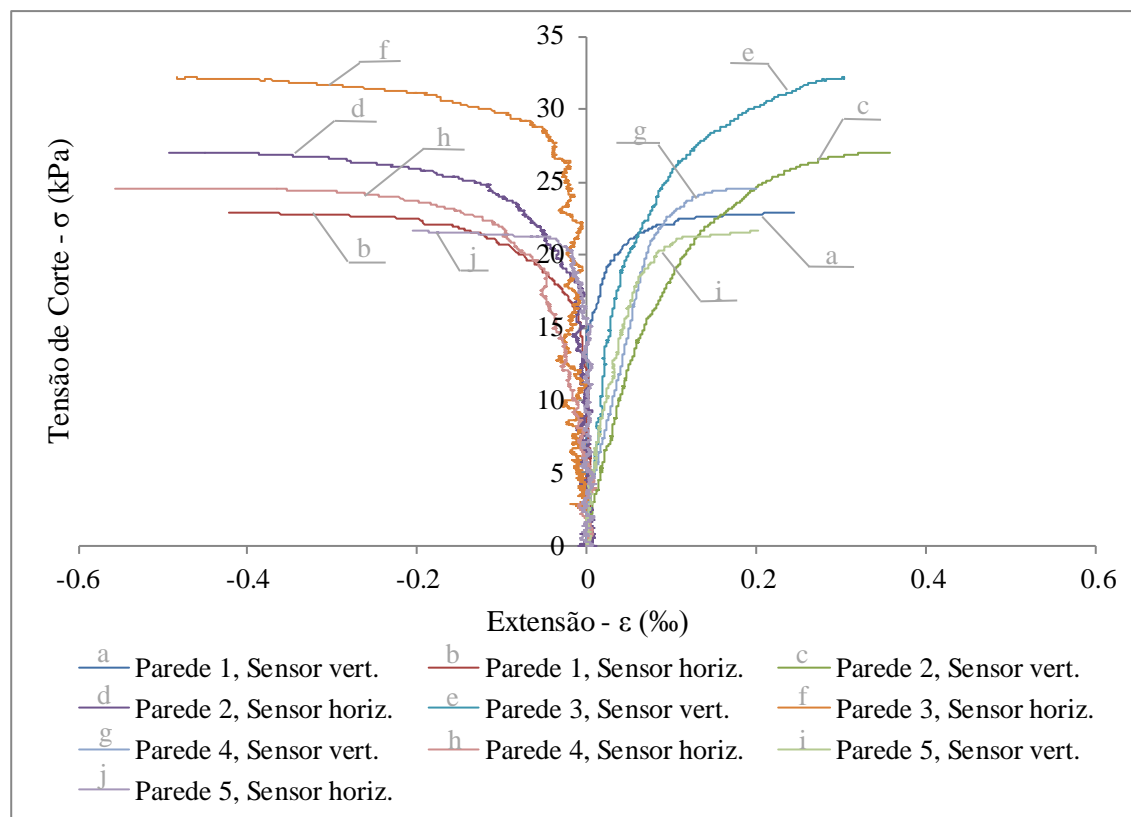


Figura 4.24. Curvas tensão vs. extensão finais.



A extensão vertical média das paredes, correspondente à tensão de rotura, compreendeu-se entre 0,20‰ e 0,36‰, sendo estes valores relativos às paredes 4 e 2, respectivamente, e a extensão horizontal média das paredes, correspondente à tensão de rotura, entre 0,21‰ e 0,56‰, sendo estes valores relativos às paredes 5 e 4, respectivamente.

De modo a comparar os valores obtidos através dos sensores curtos e dos sensores longos, nas Figuras 4.25 e 4.26 são representados os valores obtidos através destes sensores.

Assim, na Figura 4.25 representa-se o gráfico tensão de corte *versus* extensão, correspondente aos valores obtidos através dos sensores curtos, para cada parede. Verificou-se que a extensão horizontal média das paredes, correspondente à tensão máxima, foi de 0,47‰. Por sua vez, a extensão vertical média foi de 0,22‰.

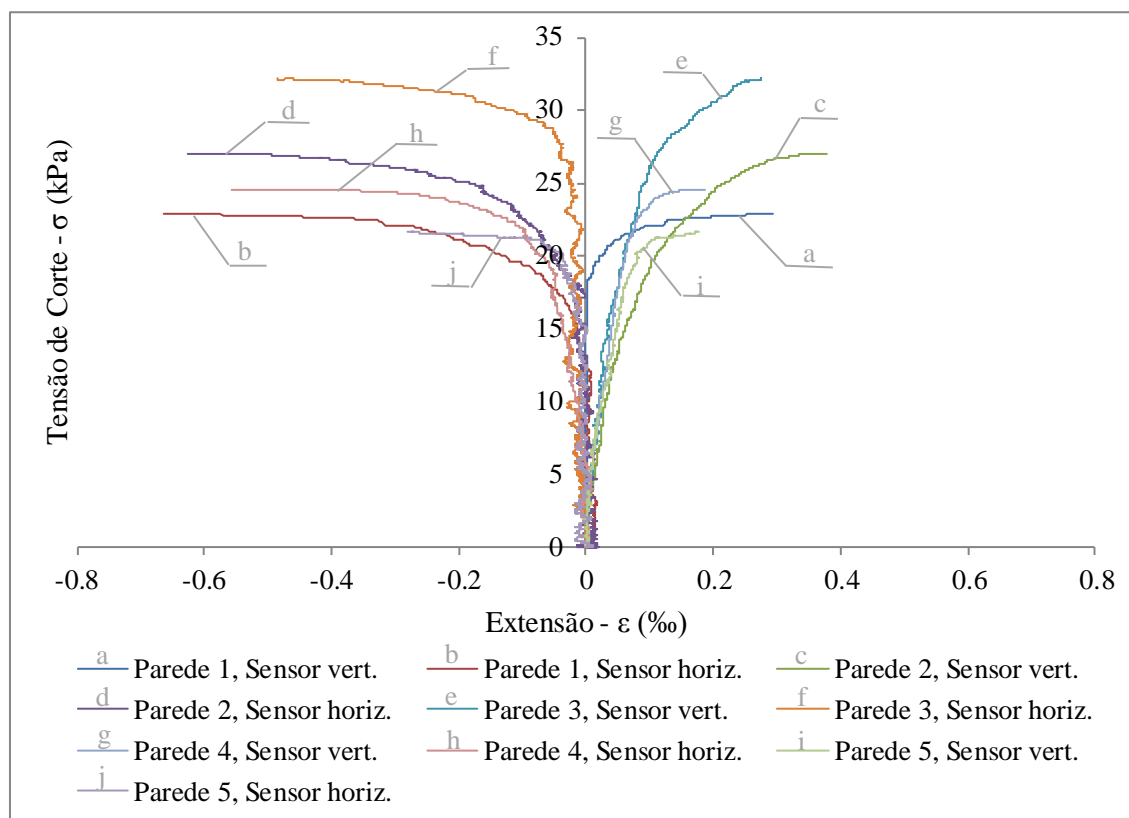


Figura 4.25. Curvas tensão *vs.* extensão com base nas medições dos sensores curtos.

Na Figura 4.26 representa-se o gráfico tensão de corte *versus* extensão, correspondente aos valores obtidos através dos sensores longos, para cada parede. Verificou-se que a extensão horizontal média das paredes, correspondente à tensão máxima, foi de 0,24‰. Por sua vez, a extensão vertical média foi de 0,26‰.

É de realçar que, tal como descrito anteriormente, alguns registos dos sensores horizontais longos não foram considerados, porque ocorreram danos que afectaram os valores obtidos por estes sensores. Neste caso, incluem-se as paredes 3 e 4.

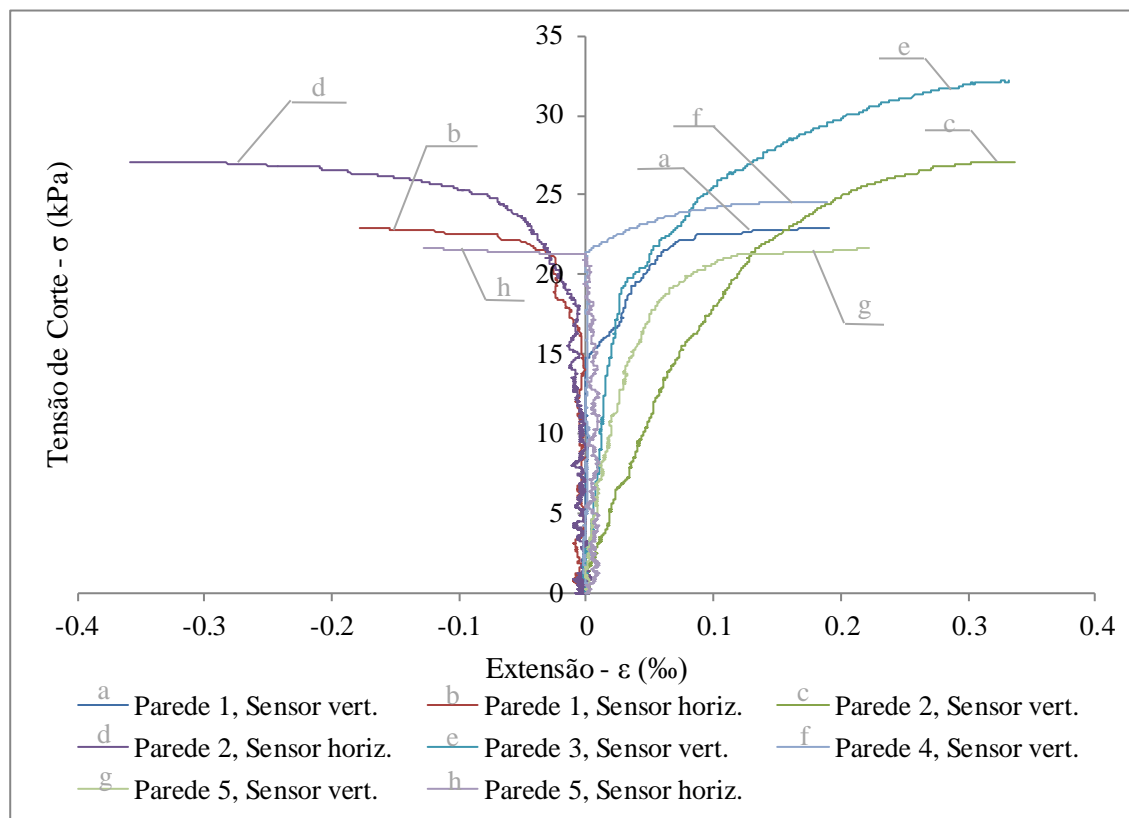


Figura 4.26. Curvas tensão vs. extensão com base nas medições dos sensores longos.

Comparando os resultados obtidos, representados nas Figuras 4.25 e 4.26, conclui-se que os sensores curtos colocados na posição horizontal apresentaram valores de extensão quase duas vezes superior aos apresentados pelos sensores longos. Não se verifica, no entanto, uma diferença significativa entre os valores de extensão obtidos para os sensores longos e curtos colocados na posição vertical. Verifica-se ainda que os valores de extensão obtidos para os sensores curtos apresentam uma maior dispersão que os obtidos para os sensores longos.

## Capítulo 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

---



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os edifícios analisados neste trabalho são diferentes no que concerne ao número de pisos, sendo um deles constituído por dois pisos (H\_028), e o outro apenas pelo piso térreo (H\_029). Ambos os edifícios possuem uma cobertura com estrutura em madeira (apenas foi possível identificar o tipo de estrutura de suporte para o edifício H\_028, sendo esta em asna fechada), paredes da fachada em alvenaria de adobe (com espessura entre 35 e 50 cm), paredes interiores em adobe e tabique (estando este último tipo de parede apenas presente no edifício H\_028). Relativamente aos pavimentos dos dois edifícios, apenas se conseguiu visualizar a estrutura de suporte do primeiro piso do edifício H\_028, sendo esta de madeira aparelhada em praticamente todo o piso, excluindo numa zona (cozinha) em que é constituída por uma laje de betão armado.

Os edifícios encontram-se num estado de deterioração considerável, em que as patologias mais severas existentes se devem a deficiências na cobertura, nomeadamente à ausência, desalinhamento e fracturas das telhas, e ao desabamento parcial da cobertura (verificado no edifício H\_029), problemas estes que facilitam a entrada de água da chuva nos edifícios.

Na caracterização mecânica dos adobes dos edifícios H12 e H13, concluiu-se que o adobe do primeiro edifício apresenta resistências à tracção e à compressão muito superiores às do adobe do segundo edifício. Assim, quando ensaiado à compressão, o adobe do edifício H12 ( $\sigma_c = 0,85$  MPa) resiste quase ao dobro que o adobe do edifício H13 ( $\sigma_c = 0,48$  MPa). Do mesmo modo, quando ensaiado à flexão, o adobe do edifício H12 ( $\sigma_f = 0,66$  MPa) resiste aproximadamente ao triplo que o adobe do edifício H13 ( $\sigma_f = 0,23$  MPa) e, com o ensaio à compressão diametral, estes valores divergem ainda mais, sendo o adobe do edifício H12 ( $\sigma_t = 0,21$  MPa) quase cinco vezes mais resistente que o adobe do edifício H13 ( $\sigma_t = 0,04$  MPa).

De acordo com a correlação linear obtida, a resistência à tracção do provete paralelepípedo quando ensaiado à flexão é cerca de 2,7 vezes maior que a resistência à tracção dos provetes cilíndricos quando ensaiados à compressão diametral. Por sua vez, a

resistência à compressão dos provetes cúbicos é cerca de 1,05 vezes maior que a resistência à compressão dos provetes cilíndricos.

No ensaio das 5 paredes de adobe ensaiadas à compressão diagonal às juntas de assentamento, obteve-se os seguintes resultados principais:

- Tensão de rotura em corte entre 22 kPa e 32 kPa, com um valor médio de 26 kPa;
- Módulo de rigidez entre 29 MPa e 47 MPa, com um valor médio de 40 MPa;
- Deformação de corte entre 0,47‰ e 0,94‰, com um valor médio de 0,67‰.

Os resultados obtidos poderão servir, em trabalhos futuros, para o enriquecimento do conhecimento sobre o património local em Aveiro, que poderá ser utilizado em futuras acções de reabilitação, assim como para apoio à calibração de modelos numéricos capazes de representar o comportamento das construções em adobe existentes na região de Aveiro, para vários níveis de acção. Estes modelos calibrados permitirão que se realize uma avaliação da segurança estrutural das construções existentes de adobe com maior rigor.

## **5.1. Trabalhos em Desenvolvimento**

Alguns trabalhos que se encontram em desenvolvimento e que continuarão a ser alvo de atenção futuramente, relacionados com o trabalho de caracterização da construção em adobe do distrito de Aveiro apresentado nesta dissertação, são:

- Levantamentos detalhados em mais edifícios existentes no distrito;
- Caracterização mecânica do adobe de outros concelhos do distrito;
- Execução de ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento em paredes de adobe.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Blondet, M., Torrealva, D., Garcia, G. V., Ginocchio, F. e Madueño, I. (2005).** *Using industrial materials for the construction of safe adobe houses in seismic areas.* Proceedings of Earth Build 2005. University of Technology, Sydney, Australia.

**Censos.** (1911 a 2011), <censos.ine.pt>.

**CPC 6 (1994).** *Tension by splitting of concrete specimens, 1975.* RILEM Technical recommendations for the testing and use of construction materials. London: E&FN Spon: pag.21-22.

**E519-81 (1997).** *Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages.* ASTM Standards on Masonry.

**E 196 (1966).** *Solos – Análise Granulométrica.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

**Elnashai, A., Gencturk, B., Kwon, O.-S., Al-Qadi, I., Hashash, Y., Roesler, J., Kim, S. J., Jeong, S.-H., Dukes, J. e Valdivia, A. (2010).** *The Maule (Cheli) Earthquake of February 27, 2010: Consequence Assessment and Case Studies.* MAE Center Report No.10-04, MID - America Earthquake Center.

**Houben, H. e Guillaud, H. (1994).** *Earth Construction: A Comprehensive Guide - ITDG Publishing, London: Intermediate Technology Publications, Londres, Reino Unido.*

**Illston, J. M. e Domone, P. L. J. (2010).** *Construction Materials. Their Nature and Behavior,* JM Illston and PLJ Domone editors, United Kingdom: T & F Books.

**Lamond, J. F. e Pielert, J. H. (2006).** "Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials." New York: ASTM International.

**Morel, J.-C., Pkla, A. e Walker, P. (2007).** *Compressive strength testing of compressed earth blocks*, Construction and Building Materials, Fevereiro de 2007.

**Neto, C. (2008).** *Estratégia para a caracterização do edificado em adobe em Aveiro*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. Tese de Mestrado.

**NMAC (2009).** *14.7.4: 2009 - New Mexico earthen building materials code*. New Mexico, USA.

**NTE E.080 (2000).** *Reglamento nacional de construcciones. Norma técnica de edificación - NTE E.080 Adobe*. Sencico. Lima.

**NZS 4298 (1998).** *Materials and workmanship for earth buildings*. Standards New Zealand. Wellington, New Zealand.

**Ocola, L. e Huaco, P. (2005).** *Respuesta sísmica de edificaciones de adobe en el territorio peruano: terremotos 1974-2001*. Proceedings of Sismo Adobe 2005 Conference. Lima, Perú, 16 a 19 de Maio de 2005.

**Oliveira, E. V. e Galhano, F. (1992).** *Arquitetura Tradicional Portuguesa*, Publicações D. Quixote.

**Ottazzi, G. (1998).** *Normalización de ensayos en albañilería de adobe*. Arquitectura de tierra: Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos, Madrid: Ministério de Fomento: Pag. 83-84.

**Sensi, B. (2003).** *Terracuda, La Diffusione Dell'architettura Di Terra*.

**Silva, S., Varum, H., Bastos, D. e Silveira, D. (2010).** *Arquitectura de terra: Investigação e caracterização de edificações em adobe no concelho da Murtosa*. Terra em Seminário 2010. Argumentum, Lisboa, Portugal.

**Silveira, D. (em desenvolvimento).** *Avaliação da vulnerabilidade sísmica e reabilitação de construções existentes em adobe*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. Tese de doutoramento.

**Silveira, D., Varum, H., Costa, A. e Lima, E. (2010).** *Levantamento e caracterização do parque edificado em adobe na cidade de Aveiro*. 9º SIACOT, Seminário Ibero-Americano de Construção e Arquitectura de Terra; e, 6º ATP, Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal. Universidade de Coimbra, Coimbra, 20 a 23 de Fevereiro de 2010.

**Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H. e Almeida, J. (2012).** *Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions*, Construction and Building Materials Vol. 28, Pag. 36-44.

**Varum, H., Costa, A., Pereira, H., Almeida, J. e Silveira, D. (2007).** *Mechanical characterization of adobe masonry walls*. 13<sup>th</sup> Conference of Sociedade Portuguesa de Materiais e IV International Materials Symposium - A Materials Science Forum. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1 a 4 de Abril de 2007.

**Varum, H., Costa, A., Silveira, D., Oliveira, C. e Figueiredo, A. (2010).** *Caracterização mecânica e reforço de construções em alvenaria de adobe*. Sismica 2010 - 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

**Varum, H., Figueiredo, A., Silveira, D., Martins, T. e Costa, A. (2011a).** *Outputs from the research developed at the University of Aveiro regarding the mechanical characterization of existing adobe constructions in Portugal*. Revista informes de la Construcción. vol. 63, N. 523: Pag. 127-142, Julho-Setembro de 2011.

**Varum, H., Silveira, D., Carvalho, J., Figueiredo, A. e Costa, A. (2011b).** *Caracterização do comportamento mecânico de paredes de alvenaria de adobe*. VIII Congresso de Tierra en Cuenca de Campos. Valladolid.

**Walker, P. (2002).** *HB 195-2002: The Australian earth building handbook*. Sydney: Standards Australia.

**Anexo**

**FICHAS DE LEVANTAMENTO E INSPECÇÃO**

---



## ANEXO

Tabela A. 1. Identificação dos Edifícios.

Nº edifício			H_028	H_029
Data de inspecção			28-03-2011	28-03-2011
		Localidade	Aveiro	Aveiro
		Concelho	Aveiro	Aveiro
Localização:	Coordenadas	M	8° 38' 53.92" W	8° 38' 53.72" W
	rectangulares, em Datum 73 do IGP	P	40° 38' 2.57" N	40° 38' 2.32" N
Ano de construção			Final do séc. XIX ou início do séc. XX	Final do séc. XIX ou início do séc. XX
Ano de abandono			Por volta de 2000	Entre 2000 e 2010
Classificação			Privado	Privado
Implantação			Banda meio	Banda extremo
Estado de conservação do edificio (1-5)			2,5	1,5
Nº de fachadas com aberturas			4	2 (Fachada principal e lateral direita)
Nº de pisos			2	1
Pé Direito:		Cave	...	...
		Piso térreo	3,11	3,05
		1º Andar	3,36	
		2º Andar	...	...
		3º Andar	...	...
Utilização (anterior abandono)			Habitação	Habitação

Tabela A. 2. Caracterização da Cobertura.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Geometria</b>		
• Tipo	Inclinada	Inclinada
• Nº águas	?	4
<b>Revestimento</b>		
• Tipo	Telha Marselha	Telha Marselha
• Estado de conservação (1-5)	2	1,5
<b>Isolamento térmico</b>	Não	Não
<b>Singularidades</b>	Não	Não
<b>Dimensão do beirado (cm)</b>	30	45 (+/-)
<b>Caleira (interior / exterior)</b>	Exterior (visível nas fachadas principal e lateral direita)	Provavelmente existe uma caleira na fronteira com o edifício vizinho, mas não é possível fazer a observação.
<b>Estrutura de suporte</b>		
• Material	Madeira	Madeira
• Tipo	Asna fechada	?
• Dimensões dos elementos estruturais principais		
• Madres (cm)		
• b (cm)	?	?
• h (cm)	?	?
• $\Phi$ (cm)	?	?
• Vigas (cm)		
• b (cm)	?	?
• h (cm)	?	?
• $\Phi$ (cm)	?	?
• Pernas (cm)		
• b (cm)	?	?
• h (cm)	?	?
• Pendural (cm)		
• b (cm)	?	?
• h (cm)	?	?
• Linha (cm)		
• b (cm)	?	?
• h (cm)	?	?
• Ligação às paredes:		
• Tipo	Encaixe dos elementos estruturais de madeira na alvenaria	?
• Estado de conservação (1-5)	Observa-se muito pouco, não se classificou.	?
• Impulsos horizontais sobre as paredes	Não	?
• Estado de conservação (1-5)	Observa-se muito pouco, não se classificou.	?



Tabela A. 3. Patologias da Cobertura.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Revestimento:</b>		
• Encaixe deficiente	Não	Não
• Sobreposição	Não	Não
• Desalinhamento	Não	Sim
• Descolagem	Não	Não
• Fracturas	Não	?
• Outras	Vegetação e envelhecimento	Telhas em falta
<b>Argamassa excessiva:</b>		
• Juntas entre revestimento	Não	Não
• Cumieira / rincão	Não	Não
• Beiral / beirado	Não	Não
<b>Rufagem:</b>		
• Deficiente:	...	...
<b>Remates deficientes:</b>		
• Laró	Não	Não
• Cumieira	Não	Não
<b>Geometria inadequada</b>	Não	Não
<b>Pontos singulares mal concebidos</b>	Não	Não
<b>Erro de construção dos beirais / beirados</b>	Não	Não
<b>Pendente:</b>		
• Excessiva	?	?
• Insuficiente	?	?
<b>Infiltrações</b>	Sim	Sim
<b>Condensações interiores (manchado)</b>	Sim	Sim
<b>Acumulação</b>		
• Musgos e bolores	Sim	Sim
• Vegetação pioneira	Sim	Sim
<b>Corrosão em elementos metálicos</b>		
• Não estruturais	...	...
• Estruturais	...	...
<b>Degradação / envelhecimento dos materiais</b>		
• Não estruturais	Sim	Sim
• Estruturais	Sim	Sim
<b>Estrutura de suporte</b>		
• Deformação excessiva das asnas	?	?
• Valor (cm)	?	?
• Deformação excessiva das madres	?	?
• Valor (cm)	?	?
• Bambeamento por ausência ou degradação do contraventamento	?	?
• Fissuração/esmagamento		
• Asnas	?	?
• Vigas	?	?
• Madres	?	?
• Fragilização da ligação da estrutura à parede	?	?
• Destacamento do recobrimento (betão armado)	...	...

Tabela A. 4. Caracterização das Paredes da Fachada.

Nº edifício		H_028	H_029
Estrutura de suporte			
F.Pri.	• Tipo	Alvenaria de adobe, 1 vez	Alvenaria de adobe, ?
	• Espessura (cm)	50 (+/-)	43 (+/-)
	• Função	Resistente	Resistente
	• Estado de conservação (1-5)	2,5	2
F.L.D.	• Tipo	Alvenaria de adobe, 1/2 vez	Alvenaria de adobe, ?
	• Espessura (cm)	35 (+/-)	?
	• Função	Resistente	Resistente
	• Estado de conservação (1-5)	2,5	2
F.L.E.	• Tipo	Alvenaria de adobe, 1/2 vez	Alvenaria de adobe, ?
	• Espessura (cm)	38 (+/-)	?
	• Função	Resistente	Resistente
	• Estado de conservação (1-5)	3	2
F.Pos.	• Tipo	Alvenaria de adobe, 1/2 vez	Alvenaria de adobe, ?
	• Espessura (cm)	35 (+/-)	?
	• Função	Resistente	Resistente
	• Estado de conservação (1-5)	?	2
Execução da ligação entre as paredes		Encaixe (observado na ala direita do edifício).	Não é possível observar
Execução dos vãos		Padieiras: com viga(s) em madeira (observado na ala direita do edifício).	Não é possível observar
Equipamento pesado ligado à envolvente		Não	Não
Revestimento			
F.Pri.	• Tipo	Revestimento cerâmico não vidrado; argamassa de terra e cal, e numa pequena parcela de parede no interior, na ala direita, é visível argamassa de cimento.	Pintura com tinta de água plástica; argamassa de cimento sobre argamassa de terra e cal.
	• Estado de conservação (1-5)		
F.L.D.	• Tipo	Pintura de cal (caiada); argamassa de terra e cal.	?
	• Estado de conservação (1-5)	2	?
F.L.E.	• Tipo	Pintura de cal (caiada); argamassa de terra e cal.	...
	• Estado de conservação (1-5)	2	...
F.Pos.	• Tipo	?	?
	• Estado de conservação (1-5)	?	?

Tabela A. 5. Patologias das Paredes da Fachada.

Nº edifício	H_028				H_029			
	F.Pri	F.L.D	F.L.E	F.Pos	F.Pri	F.L.D	F.L.E	F.Pos
<b>Fissuração (excluindo fissuração junto a aberturas):</b>	Sim	Sim	Não	?	Sim	?	?	?
• Fissuração:								
• Na estrutura de suporte e revestimento	?	Sim	Não	?	?	?	?	?
• Somente no revestimento	?	Não	Não	?	?	?	?	?
• Padrão de fissuração em altura:								
• Concentração na base	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
• Concentração no topo	Sim	Não	...	?	Não	?	?	?
• Uniformemente distribuída em altura	Não	Não	...	?	Sim	?	?	?
• Sem padrão	Não	Sim	...	?	Não	?	?	?
• Padrão de fissuração em largura:								
• Concentração no lado esquerdo	Não	Sim	...	?	Não	?	?	?
• Concentração a meio	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
• Concentração no lado direito	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
• Uniformemente distribuída em largura	Sim	Não	...	?	Sim	?	?	?
• Sem padrão	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
• Orientação das fissuras:								
• Essencialmente horizontal	Não	Não	...	?	Sim	?	?	?
• Essencialmente vertical	Sim	Sim	...	?	Sim	?	?	?
• Essencialmente inclinada	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
• Sem padrão	Não	Não	...	?	Não	?	?	?
<b>Concentração de fissuras em aberturas:</b>	Sim	?	Sim	?	Sim	...	Sim	...
• Fissuração:								
• Na estrutura de suporte e revestimento	?	?	?	?	?	...	Sim	...
• Somente no revestimento	?	?	?	?	?	...	Não	...
• Orientação de fissuras em aberturas:								
• Essencialmente vertical	Sim	?	Não	?	Sim	...	Sim	...
• Essencialmente horizontal	Não	?	Não	?	Sim	...	Não	...
• Essencialmente inclinada	Não	?	Não	?	Não	...	Não	...
• Sem padrão	Não	?	Sim	?	Não	...	Não	...
<b>Causas possíveis da fissuração:</b>								
• Por assentamento de fundações	Não	?	Não	?	Não	?	?	?
• Por deformação excessiva dos elementos de suporte	Não	Não	Não	?	Não	?	?	?
• Localizada com esmagamento	Não	Não	Não	?	Não	?	?	?
• Devido a concentração de tensões	Sim	Não	Sim	?	Sim	?	Sim	?
• Por retracção do revestimento	Não	Não	Não	?	Sim	?	?	?
• Inadaptabilidade e incompatibilidade de suporte-revestimento	Não	Não	Não	?	Sim	?	?	?
• Devido a corrosão dos elementos metálicos	Não	Não	Não	?	Não	?	?	?
• Devido a reacção a sais (eflorescências/ criptoflorescências)	Não	Não	Não	?	Não	?	?	?
• Devido a acções térmicas e humanas	Não	Não	Não	?	Sim	?	?	?
• Outras	Não		Não	?	Não	?	?	?
<b>Inclinação das paredes</b>	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela A. 6. Patologias das Paredes de Fachada (continuação).

Nº edifício	H_028				H_029			
	F.Pri.	F.L.D	F.L.E	F.Pos	F.Pri.	F.L.D.	F.L.E	F.Pos
Deslocamento horizontal das paredes	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Descrição	...	...	...	...	...	...	...	...
Abaulamento das paredes de fachadas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Causas	...	...	...	...	...	...	...	...
Assentamentos diferenciais	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Patologias em cunhais:								
• Falta de perpendicularidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Afastamento das paredes / fissuração em cunhais	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Perda esquadria em vãos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Lintéis abaulados	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Humidade:								
• Ascensional	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
• Escorrências	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
• Condensações superficiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
• Condensações internas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Por infiltrações através de platibandas e guardas de terraço	...	...	...	...	...	...	...	...
• Por infiltrações pelas ligações caixilharia / fachada	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Por infiltrações pela caleira interior da cobertura	...	...	...	...	...	...	...	...
Outras:								
• Expansão de alvenarias por acção térmica e/ou humidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
• Envelhecimento dos materiais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
• Destacamento/descolamento do revestimento	Sim	Sim	Não	?	Sim	?	?	?
• Tinta descascada/empolada	Sim	Sim	Sim	?	Sim	?	?	?
• Queda de revestimento	Sim	Sim	Não	?	Sim	?	?	?
• Poluição, grafittis, musgos, bolores	Sim	Sim	Sim	?	Sim	?	?	?

Tabela A. 7. Caracterização dos Pavimentos.

Nº edifício	H_028		H_029
	Piso Térreo	1º Piso	Piso Térreo
<b>Estrutura de suporte</b>			
• Material	?	Cozinha: betão armado; no resto do piso: madeira.	?
• Tipo	?	Cozinha: ?; no resto do piso: aparelhada.	?
• Dimensões dos elementos estruturais principais:			
• Madeira:			
Vigas:			
b (cm)	?	...	?
h (cm)	?	...	?
• Barrotes:			
b (cm)	?	7	?
h (cm)	?	18	?
• Laje de betão armado:			
h (cm)	...	?	...
• Perfis de aço:			
b (cm)	...	...	...
h (cm)	...	...	...
• Ligação às paredes:			
Encaixe dos elementos estruturais de madeira na alvenaria. Na parede que separa a ala esquerda da ala direita existe um 'rasgo' aberto contínuo onde apoiam os barrotes. Por vezes a zona abaixo dos barrotes é reforçada com madeira ou material cerâmico. Alguns barrotes apresentam reforços laterais junto aos apoios.			
• Tipo	?		?
• Estado de conservação (1-5)	?	2	?
• Piso com desnível	Não	Não	Não
• Estado de conservação (1-5)	?	2	?
<b>Revestimento:</b>			
• Tipo	Hall de entrada: mosaico hidráulico; sala junto ao hall de entrada: ladrilho cerâmico; ala direita: terra batida; compartimentos restantes: betonilha	Instalação sanitária e cozinha: mosaico hidráulico; restantes compartimentos: soalho (não são visíveis pregos).	Cozinha: soalho e betonilha; compartimentos restantes: taco colado.
• Estado de conservação (1-5)	3	1,5	1
<b>Piso térreo com caixa de ar</b>	Não	...	Não

Tabela A. 8. Patologias dos Pavimentos.

Nº edifício		H_028		H_029
		Piso Térreo	1º Piso	Piso Térreo
Revestimentos				
Madeira	• Ataque biológico	...	Sim	Sim
	• Apodrecimento por humidades	...	Não	Sim
	• Fissuras	...	Não	Sim
	• Abaulamentos/empolamentos	...	Não	Não
	• Envelhecimento dos materiais	...	Sim	Sim
Ladrilhos cerâmicos/mosaicos hidráulicos	• Descolamento:			
	• Perda de aderência	Não	Não	...
	• Empolamento	Não	Não	...
	• Fissuração	Não	Não	...
	• Alteração da cor	Não	Não	...
	• Desgaste	Sim	Não	...
	• Despreendimento do vitrado	Não	Não	...
	• Envelhecimento dos materiais	Sim	Sim	...
Vinílico s/alcatifa s/mantas	• Rasgos	...	...	...
	• Descolagem	...	...	...
	• Desgaste	...	...	...
	• Envelhecimento dos materiais	...	...	...
Outras		(Betonilha)		(Betonilha)
	• Fissuração	Não	...	Não
	• Desgaste	Sim	...	Sim
	• Envelhecimento dos materiais	Sim	...	Sim
Estrutura de suporte				
Vigas / barrotes	• Fissuração	?	Não	?
	• Deformação excessiva	?	Não	?
	• Valor (mm)	?	...	?
	• Bambeamento (instabilidade por flexão e torção)	?	Não	?
	• Destacamento do recobrimento (betão armado)	...	...	...
	• Corrosão (da viga metálica ou das armaduras da viga de betão armado)	...	...	...
	• Degradação da madeira			
	• Apodrecimento por humidade	?	Sim	?
	• Ataque biológico	?	Sim	?
	• Envelhecimento	?	Sim	?
Lajes	• Fissuração	?	?	?
	• Deformação excessiva	?	?	?
	• Valor (mm)	?	?	?
	• Destacamento do recobrimento (betão armado)	...	Sim	...
• Fragilização de ligações		?	Sim	?
• Abaixamento do nível do piso térreo:		Não	...	Não
• Uniforme		...	...	...
• Valor (mm)		...	...	...
• Diferido		...	...	...
• Localizado		...	...	...
• Deslocamentos horizontais do piso térreo		Não	...	Não

Tabela A. 9. Avaliação das Paredes Interiores.

Nº edifício	H_028		H_029
	Piso Térreo	1	Piso Térreo
<b>Estrutura de suporte</b>			
• Tipo	Alvenaria de adobe; tabique fasquiado	Alvenaria de adobe; tabique fasquiado	Alvenaria de adobe
• Espessura (cm)	Alvenaria de adobe: 32 e 35; tabique fasquiado: 11	Alvenaria de adobe: 35; tabique fasquiado: 11	(variavel, ver planta)
• Função resistente	Alvenaria de adobe: sim; tabique fasquiado: não	Alvenaria de adobe: sim; tabique fasquiado: não	Sim
• Estado de conservação (1-5)	3	2,5	2,5
<b>Revestimento</b>			
• Tipo	Pintura com tinta de água plástica, argamassa de cimento sobre argamassa de terra e cal; hall de entrada, no lambril: revestimento cerâmico.	Pintura com tinta de água plástica, argamassa de cimento sobre argamassa de terra e cal; cozinha e instalação sanitária, no lambril: revestimento cerâmico.	Pintura com tinta de água plástica, argamassa de cimento sobre argamassa de terra e cal; cozinha, no lambril: revestimento cerâmico; compartimento à direita da entrada: plástico.
• Estado de conservação (1-5)	3	2,5	1
<b>Patologias</b>			
• Manchas:			
• De humidade	Sim	Sim	Sim
• Outras	Não	Sim	Sim
• Bolors	Não	Sim	Sim
• Descasque da tinta	Não	Sim	Sim
• Descasque ou queda do reboco	Não	Não	Sim
• Danificação dos materiais	Sim	Sim	Sim
• Escorrências	Sim	Sim	Sim
• Descolagem do lambril	Não	Não	Não
• Abaulamento:			
• Carga excessiva	Não	Não	Não
• Retracção	Não	Não	Não
• Expansão	Não	Não	Não
• Fissuras	Sim	Sim	Sim
• Desagregação	Não	Não	Não
• Esmagamento localizado	Não	Não	Não
• Perda esquadria em vãos	Não	Não	Não
• Lintéis abaulados	Não	Não	Não
• Fragilização da ligação das paredes à restante estrutura	Sim	Sim	Sim

Tabela A. 10. Avaliação dos Tectos.

Nº edifício	H_028		H_029
	Piso Térreo	1º Piso	Piso Térreo
<b>Constituição</b>	Madeira; reboco pintado / areado fino.	Madeira; reboco pintado / areado fino. É possível observar em alguns compartimentos o ripado de madeira que serve de suporte ao reboco do tecto.	Madeira
<b>Estado de conservação (1-5)</b>	2,5	Tectos de madeira: 4; restantes tectos: 2	1-3
<b>Patologias</b>			
• Manchas			
• De humidade	Sim	Sim	Sim
• Outras	Não	Sim	Sim
• Bolores	Sim	Sim	Sim
• Descasque da tinta	Não	Não	Não
• Descasque / queda do reboco	Não	Sim	Não
• Danificação das madeiras	Sim	Sim	Sim
• Apodrecimento das madeiras	Não	Sim	Não
• Abaulamento das madeiras	Não	Não	Não
• Fissuras	Sim	Sim	Não
• Envelhecimento dos materiais	Sim	Sim	Sim



Tabela A. 11. Avaliação de Caves e Fundações.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Generalidades</b>		
• Número de pisos enterrados	0	0
• Coincidência, em planta, da cave com o edifício	...	...
• Vestígios de escavações posteriores à construção	Não	Não
• Vestígios de alteração do nível freático	Não	Não
<b>Fundações</b>		
• Tipo	Não é possível identificar	Não é possível identificar
• Estado de conservação (1-5)	?	?
<b>Muros de suporte / contenção de terras</b>		
• Existência de muros de suporte / contenção de terras	Não	Não
• Constituição	...	...
• Contrafortes	...	...
• Dimensões		
• Espessura na base (m)	...	...
• Espessura no topo (m)	...	...
• Altura (m)	...	...
• Inclinação (°)	...	...
• Estado de conservação (1-5)	...	...
• Consolidação/escoramento	...	...
<b>Patologias das fundações</b>		
• Abaixamento do nível do piso térreo	...	...
• Deslocamento vertical do terreno	...	...
• Deslocamento horizontal do terreno	...	...
• Assentamentos diferenciais	...	...
<b>Patologias dos muros</b>		
• Manchas de humidade	...	...
• Fissuração (esquematize)	...	...
• Desagregação do material	...	...
• Esmagamento	...	...
• Outras	...	...

Tabela A. 12. Caracterização de Outros Elementos Estruturais.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Arcos ou abóbodas</b>		
• Existência de arcos ou abóbodas / nº	Sim / 1	Não
• Localização	R/C, ala direita	...
• Constituição	Tijolo burro	...
• Dimensões:		
• Vão (m)	2,3 (+/-)	...
• Flecha (m)	?	...
• Estado de conservação (1-5)	4	...
<b>Pilares</b>		
• Existência de pilares	Não	Não
• Localização	...	...
• Constituição	...	...
• Dimensões:		
• h (m)	...	...
• a (cm)	...	...
• b (cm)	...	...
• $\Phi$ (cm)	...	...
• Estado de conservação (1-5)	...	...
<b>Escadas</b>		
• Existência de escadas / nº	Sim / 2	Não
• Localização	Interiores, ala direita e ala esquerda	...
• Constituição das escadas	Madeira	...
• Estado de conservação (1-5)	Ala esquerda: 4; ala direita: 2	...

Tabela A. 13. Patologias de Outros Elementos Estruturais.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Patologias dos arcos ou abóbodas</b>		
• Fissuração	Não	...
• Degradação/envelhecimento do(s) material(is)	Não	...
<b>Patologias dos pilares</b>		
• Fissuração	...	...
• Falta de verticalidade	...	...
• Varejamento (instabilidade por flexão)	...	...
• Destacamento do recobrimento (betão armado)	...	...
• Corrosão (do pilar metálico ou das armaduras do pilar de betão armado)	...	...
• Degradação de argamassa	...	...
• Degradação da madeira	...	...
• Assentamento	...	...
• Envelhecimento	...	...
<b>Patologias das escadas</b>		
• Empenadas	Não	...
• Curtas	Não	...
• Degradadas	Sim (ala direita)	...
• Apodrecimento por humidades	Sim (ala direita)	...
• Outras	Sim (sujeidade)	...

Tabela A. 14. Materiais Tradicionais Constituintes das Alvenarias das Alvenarias de Adobe.

Nº edifício	H_028		H_029
	Tipo 1	Tipo 2	
Unidades de adobe			
• Localização no edifício	Visível na ala direita, R/C, parede esquerda	Visível na ala direita, R/C, parede direita	Impossível observar
• Dimensões	???x9x43	28x11x???	?
• Cor	Laranja	Bege escuro	?
• Materiais constituintes	Areia + cal	Areia + cal	?
Argamassas de junta tradicionais			
• Localização no edifício	Visível na ala direita, R/C, parede esquerda	Visível na ala direita, R/C, parede direita	Impossível observar
• Espessura das juntas (cm)	2	2	?
• Cor	Bege claro	Bege claro (mesma cor Tipo 1)	?
• Materiais constituintes	Areia + Cal	Areia + Cal	?
Argamassas de revestimento tradicionais			
• No interior			
• Localização no edifício	Impossível observar	...	Visível em vários compartimentos
• Espessura do revestimento (cm)	?	...	Impossível medir
• Cor	?	...	Bege escuro
• Materiais constituintes	?	...	Areia + cal
• No exterior			
• Localização no edifício	Visível na fachada principal	...	Visível na fachada principal
• Espessura do revestimento (cm)	Impossível medir	...	Impossível medir
• Cor	Bege claro	...	Bege escuro
• Materiais constituintes	Areia + Cal	...	Areia + Cal

Tabela A. 15. Observação do Terreno e da Vizinhança do Edifício.

Nº edifício	H_028	H_029
<b>Terreno</b>		
• Existência de desníveis	Não	Não
• Deslocamentos horizontais	Não	Não
• Deslocamentos verticais	Não	Não
<b>Muros ligados ao edifício</b>		
• Função	Não	Delimitação de propriedade
• Constituição	...	Tijolo
• Dimensões		
• Espessura na base (cm)	...	?
• Espessura no topo (cm)	...	?
• Altura (m)	...	?
• Contrafortes	...	Não
• Inclinação (°)	...	?
• Estado de conservação (1-5)	...	2,5
• Patologias:		
• Fissuração	...	?
• Manchas de humidade	...	?
• Desagregação do material	...	Sim
• Esmagamento	...	Não
• Envelhecimento	...	Sim
• Consolidação / escoramento	...	Não
<b>Edifícios confinantes</b>		
• Idade	Idêntica	Idêntica
• Altura	Inferior	Superior
• Caves	Não	Não